N° d'ordre 68

Année 1979

THÈSE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

en vue de l'obtention

du Diplôme de Docteur-ingénieur
Mention : EEA Génie Electronique

par

Issa RAKHODAI

Ingénieur Electronique de Polytechnique de Téhéran (IRAN)
Ingénieur Section Spéciale d'Electronique ENSEEIHT - France

Etude et réalisation d'un extracteur rapide de caractéristiques d'image vidéo

soutenue le 15 novembre 1979 devant le Jury composé de

MM. JC. HOFFMANN Professeur INPT — Président

G. GIRALT Diecteur de Recherches au CNRS
J. BAJON Professeur INPT
JP. GAECHTER Directeur du SOTEREM
— Examinateurs

N° d'ordre 68

Année 1979

THÈSE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

en vue de l'obtention

du Diplôme de Docteur-ingénieur
Mention : EEA Génie Electronique

par

Issa RAKHODAI

Ingénieur Electronique de Polytechnique de Téhéran (IRAN)
Ingénieur Section Spéciale d'Electronique ENSEEIHT - France

Etude et réalisation d'un extracteur rapide de caractéristiques d'image vidéo

soutenue le 15 novembre 1979 devant le Jury composé de

MM. JC. HOFFMANN Professeur INPT — Président

G. GIRALT Diecteur de Recherches au CNRS
J. BAJON Professeur INPT
JP. GAECHTER Directeur du SOTEREM
— Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

PRESIDENT D'HONNEUR

M. le Professeur ESCANDE
Membre de l'Institut

PRESIDENT

M. le Professeur MONTEL

VICE-PRESIDENTS

M. MARTY	Professeur
M. ENJALBERT	Professeur sans chaire
M. CONSTANT	Maître de Conférences
M. ANDRE	Maître Assistant

Directeur de l'E.N.S.A.T.	Monsieur le Professeur RAYNAUD
Directeur de l'E.N.S.C.T.	Monsieur le Professeur VOIGT
Directeur de l'E.N.S.E.E.I.H.T.	Monsieur le Professeur NOUGARO
Directeur de l'I.G.C.	Monsieur le Professeur GARDY

SECRETAIRE GENERAL

M. CRAMPES

PROFESSEURS HONORAIRES

M. ESCANDE - Membre de l'Institut
M. DIEHL
M. DUPIN

PROFESSEURS

M. ANGELINO	Génie Chimique
M. BUGAREL	Génie Chimique
M. DAT	Mécanique
M. GARDY	Génie Chimique
M. GRUAT	Mécanique
M. HOFFMANN	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. MARTY	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M. MONTEL	Chimie Appliquée et Chimie des matériaux
M. NOUGARO	Mécanique
M. THIRRIOT	Mécanique
M. VOIGT	Chimie Minérale

.../.

PROFESSEURS SANS CHAIRE

Melle	BERDUCOU	Biologie et Biochimie Appliquées, Sciences Agronomiques
M.	CALMON	Biologie et Biochimie Appliquées, Sciences Agronomiques
M.	DABOSI	Chimie Appliquée et Chimie des Matériaux
M.	ENJALBERT	Génie Chimique
M.	FABRE	Mécanique
M.	FALLOT	Biologie et Biochimie Appliquées, Sciences Agronomiques
M.	GILOT	Chimie Appliquée et Chimie des Matériaux
M.	LEFEUVRE	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	MATHIEU	Chimie Analytique Appliquée et Chimie des Matériaux
M.	TRANNOY	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	TRUCHASSON	Mécanique

MAITRES DE CONFERENCES

M.	ALBERTINI	Sciences Agronomiques
M.	BAJON	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	BAUDRAND	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	BOURGEAT	Minéralogie, Géochimie, Pétrographie et Géologie Appliqu
M.	BRUEL	Informatique fondamentale et appliquée
M.	BUIS	Biologie et Physiologie végétale
M.	CANDAU	Biologie et Biochimie Appliquée, Sciences Agronomiques
M.	CONSTANT	Chimie minérale
M.	COSTES	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	COUDERC	Génie Chimique
M.	ECOCHARD	Biologie et Biochimie Appliquée, Sciences Agronomiques
M.	FOCH	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	GASET	Chimie Organique Appliquée et Chimie des Matériaux
M.	GOURDENNE	Chimie Physique
M.	LABAT	Biologie et Biochimie Appliquée, Sciences Agronomiques
M.	LENZI	Chimie APpliquée et Chimie des Matériaux
M.	MASBERNAT	Mécanique
M.	MATHEAU	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	MORELIERE	Electronique, Electrotechnique, Automatique
M.	TERRON	Zoologie et Ecologie

Liste établie le 24 janvier 1979

A mes parents,
avec toute ma reconnaissance

A Geneviève, ma fiancée
avec toute mon affection

A tous mes Professeurs

AVANT-PROPOS

L'étude que nous présentons a été effectuée au sein du Groupe de Télévision et Traitement du Signal Image (GTTSI) du Laboratoire de Traitement du Signal et Télécommunications de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique et d'Hydraulique de Toulouse.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers Monsieur le Professeur J.C. HOFFMANN, Directeur du Laboratoire, pour l'honneur qu'il nous a accordé en acceptant la présidence de notre jury de thèse.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur le Professeur J. BAJON, Responsable du Groupe de Télévision et Traitement du Signal Image, qui nous a guidé, conseillé, avec patience et sympathie, durant toute la durée de notre travail.

Nous remercions aussi,

. Monsieur G. GIRALT, Directeur de Recherche au C.N.R.S.

et

. Monsieur J.P. GAECHTER, Directeur du S.O.T.E.R.E.M.,

pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant à notre jury de thèse.

Nous sommes particulièrement reconnaissant envers Monsieur M. CATTOEN, Assistant à l'Institut National Polytechnique de Toulouse ; nous le remercions vivement pour son aide prodiguée sans partage, tant sur le plan pratique que sur le plan théorique.

Nous remercions chaleureusement Monsieur H. MAUREL ainsi que Monsieur A. GRAULLE, pour leur participation technique et leur gentillesse.

Nous remercions aussi tous nos camarades du groupe qui nous ont constamment encouragé dans un climat de bonne humeur et de sympathie. Nous remercions particulièrement Monsieur C. PORLIER qui nous a gentiment aidé dans la rédaction de ce mémoire et dans la réalisation du dispositif.

Nous adressons enfin nos chaleureux remerciements à Mr. et Madame BERNARD, Madame P. CHAPUIS, qui ont assuré la réalisation matérielle de cet ouvrage.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'automatisation d'opérations telles que le comptage de cellules, la classification de chromosomes, le positionnement de pièces mécaniques dans une chaîne de montage, le tri du courrier, ne sont que quelques domaines d'application à la reconnaissance des formes. Le matériel nécessaire à l'accomplissement de ces tâches est souvent coûteux et très spécialisé.

C'est la raison pour laquelle la robotique recherche des solutions, aussi bien sur le plan matériel que sur le plan des méthodes, pour s'adapter aux besoins industriels.

Dans le domaine de la vision, il apparaît que les caméras de télévision constituent d'excellents capteurs à condition que l'on trouve des algorithmes de traitement adaptés au caractère particulier du signal image.

La rapidité de l'acquisition de l'information (20 mS) pose évidemment le problème du traitement en temps réel. Aussi aboutit-on au choix suivant :

- Utilisation d'une mémoire de stockage associée qui présente l'intérêt de permettre un accès à tous les points de l'image. En contrepartie le volume d'information à traiter est considérable, ce qui se traduit par un temps de traitement important.

- Extraction en ligne des informations significatives et mémorisation sous forme codée.

Nous avons choisi cette dernière approche car elle nécessite un matériel léger et dont la rapidité convient bien aux applications industrielles.

L'étude que nous présentons dans ce mémoire a pour but d'élaborer une méthode permettant de dénombrer et d'isoler des objets dans le plan image et d'en extraire des caractéristiques morphologiques propres à chaque objet en vue de la reconnaissance.

Le dispositif réalisé suivant le principe de la méthode peut couvrir un vaste domaine d'application.

Pour illustrer ses possibilités, nous présentons à la fin du mémoire une étude menant à la classification des caractères manuscrits. Bien entendu, il s'agit seulement d'une approche. Nous mentionnons néanmoins que certains perfectionnements mineurs apportés au système pourront accroître l'efficacité du classement dans de grandes proportions.

L'étude que nous présentons est divisée en trois parties :

- Dans le premier Chapitre, nous développons le principe théorique de la méthode dans le cas d'une image "continue" et nous l'appliquons au dénombrement des objets.

- Dans le deuxième Chapitre, nous introduisons l'image discrète et définissons les relations de connexité entre les points et les segments des objets. Enfin, nous présentons un algorithme de dénombrement et d'extraction des caractéristiques des objets.

- Au troisième Chapitre, nous décrivons le dispositif réalisé. Nous analysons le système câblé de traitement du signal vidéo et son couplage à un micro-ordinateur. Nous présentons enfin les performances obtenues et quelques améliorations possibles.

CHAPITRE I

PRINCIPE THEORIQUE DE LA METHODE
CAS "CONTINU"

I-1 GENERALITES

Le traitement d'images est une discipline nécessitant beaucoup d'informations et de temps d'exécution. Le signal d'entrée auquel on veut appliquer un procédé de traitement contient généralement une quantité d'informations importantes dont plusieurs sont redondantes. Un processus de reconnaissance ou de traitement doit donc être capable d'analyser les informations reçues et de sélectionner celles qui sont utiles à la classification. Ainsi, la classification peut être vue comme un procédé de réduction dans lequel l'information reçue initialement est réduite pour produire une représentation codée des caractéristiques des formes à analyser.

Le traitement et le prétraitement ne peuvent être dissociés de la reconnaissance puisque c'est de leur efficacité à extraire les primitives de l'image que dépend la qualité de la reconnaissance. Pour notre part, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à ceux-ci.

Les techniques de traitement et de prétraitement peuvent se grouper essentiellement en 5 catégories que nous rappelons brièvement.

Une première approche est la comparaison globale point par point (corrélation). La primitive la plus simple que l'on puisse concevoir consiste à repérer un point sur l'image et à se demander s'il est blanc ou noir. De nombreuses méthodes ont été conçues qui posent cette même question à la forme à identifier, en un grand nombre de points. La qualité de ces systèmes est essentiellement due aux algorithmes de traitement. La comparaison directe de la forme avec des masques par calcul de corrélations a été une des premières méthodes envisagées.

Une autre méthode consiste à effectuer des transformations globales sur l'image à traiter, c'est-à-dire que l'on fait un changement de l'espace des représentations. Par exemple, on applique la transformée de Fourier sur l'image, ce qui permet de déterminer des caractéristiques propres aux formes à analyser. Le calcul d'une série de moment d'ordre 1, 2, 3 ... est une autre transformation globale qui caractérise les propriétés métriques des formes traitées.

D'autres méthodes s'intéressent à l'extraction de particularités locales tels : fin de segment, angles prononcés, jonction ou croisement, etc...

Dans le but de détecter ces particularités des masques ou fenêtres de tailles fixes et positionnés à des endroits fixes sont employés. La technique consiste à calculer sur les points de la fenêtre, une fonction Booléenne ou numérique caractérisant telle ou telle particularité. L'extraction des particularités locales est facilitée si une squelettisation a été faite.

La projection ou le comptage des intersections entre les formes à traiter et un certain nombre de droites est une autre méthode pour caractériser les propriétés des formes.

Finalement, l'étude des concavités constitue la base d'une très grande variété de systèmes. Celles-ci peuvent être détectées par une suivie de contour ou par tracé de l'enveloppe connexe.

La plupart des méthodes que nous venons de mentionner s'appliquent à des images déjà numérisées et nécessitent l'emploi d'un miniordinateur. Les temps de traitement sont aussi relativement long. De plus l'unicité d'objet est déjà acquise, ce qui ne correspond pas au cas réel où l'image à traiter contient généralement plusieurs formes ou objets. Ces méthodes ne sont donc qu'adaptées partiellement aux besoins de l'industrie et de la robotique.

Une approche différente consiste en la réalisation d'appareils spécialisés lorsque les contraintes de temps de traitement sont primordiales. Ainsi, un système permettant le comptage d'objets en temps réel a été développé dans notre laboratoire.

Opérant au niveau du signal vidéo, il analyse les points de contour. Pour certaines configurations particulières, il donne cependant des résultats erronés ce qui restreint son application à une classe limitée d'objets.

A partir des principes développés dans ce premier système, nous avons cherché à concevoir un dispositif plus général. Pour cela nous avons développé une méthode permettant le dénombrement et l'extraction des caractéristiques des objets indépendamment de leur forme, grandeur et position.

Les contraintes que nous nous sommes posées sont les suivantes :

1) La méthode doit être applicable au signal vidéo issue d'une caméra standard de prise de vue.

2) Le temps de traitement doit être le plus court possible.

3) L'appareil réalisé doit être peu volumineux.

La méthode adoptée consiste à relever et mémoriser, lors de l'analyse de l'image, les points significatifs des objets. Cela entraîne :

1) Une capacité de mémoire considérablement réduite.

2) Les points significatifs étant relevés en temps réel et par récurrence, le traitement de ce nombre limité d'informations se fait plus rapidement.

I-2 DEFINITION D'UN OBJET-IMAGE

Prise au sens large, la définition d'un objet-image s'applique à tous les objets existant dans un plan et se détachant du fond par des teintes différentes ; c'est le cas des objets sur une photographie, sur l'écran de télévision, des caractères d'imprimerie sur une page de journal.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons exclusivement à des objets noirs se détachant sur un fond blanc. Nous définissons alors un objet, comme un domaine de points noirs contigus.

Définissons l'étendue du plan-image par une fonction mathématique $f(x,y)$, la valeur en un point $P(x,y)$ peut être donnée par :

$f(x,y) = 1$, s'il s'agit d'un point noir (appartenant à un objet) ;

$f(x,y) = 0$, s'il s'agit d'un point blanc (hors de l'objet).

La fonction $f(x,y)$ ainsi définie est un outil indispensable pour l'extraction automatique des informations désirées sur les objets existant dans le plan.

I-3 LES POINTS DE CONTOUR

Considérons un objet dans un plan analysé selon le mode "Télévision" avec une interligne dy infiniment petit : figure 1.

L'idée consiste à montrer que tous les points ainsi analysés n'ont pas la même importance, car un point situé à l'intérieur ou à l'extérieur de l'objet ne fournit aucune information si ce n'est son appartenance ou sa non appartenance à l'objet.

Par contre, comme nous allons le voir, les points situés sur les contours de l'objet sont très significatifs. Parmi ceux-ci, on distingue 3 types :

- Les points de tangence horizontale,
- Les points situés sur les contours gauches,
- Les points situés sur les contours droits.

Sur la figure 2, les points de tangence sont numérotés :

. 1 et 2 sont appelés "début" car ils sont analysés en premier dans le sens vertical,

. 3 et 5 sont appelés "réunion" car ils relient les points de contour dissociés par l'analyse,

. 4 et 6 sont appelés "séparation"car ils sont à l'origine d'une dissociation du contour,

. 7 et 8 sont appelés "fin" car ils sont analysés en dernier dans le sens vertical.

Les points des contours gauches sont rencontrés lorsque l'analyse "rentre" dans l'objet; les points des contours droits, lorsqu'elle quitte celui-ci. Nous appelons donc "Entrée" les points des contours gauches et "Sortie" les points des contours droits.

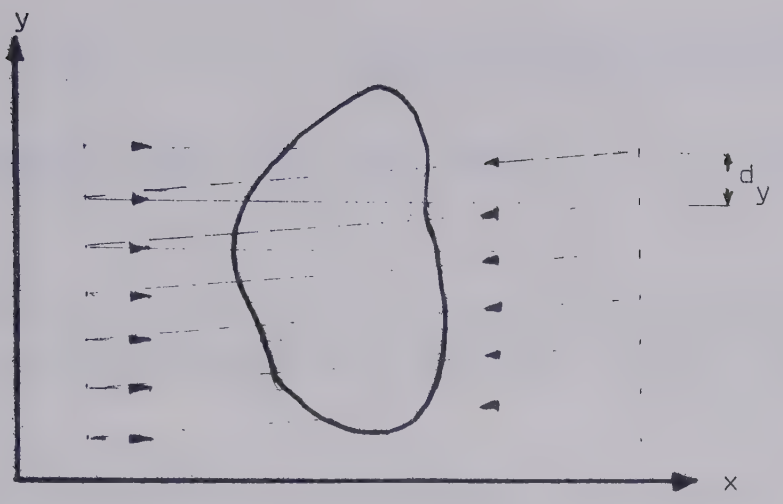


Figure 1 - Mode d'analyse.

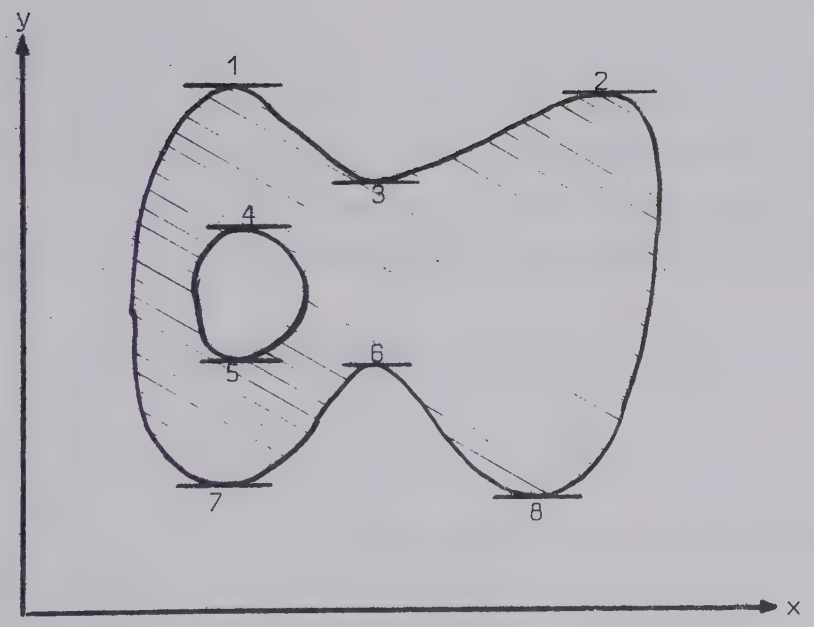


Figure 2 - Points de tangence horizontale.

I-4 RELATIONS ENTRE LES POINTS DE TANGENCE

De façon générale, pour un objet quelconque, on peut constater que :

- Chaque objet possède un contour extérieur unique et l'analyse de ce contour révèle au moins deux points de tangence horizontale, un pour le début de l'objet, et l'autre pour la fin.

- Un objet peut posséder un ou plusieurs trous ; chacun d'entre eux sera caractérisé par un contour appelé "contour intérieur". Le premier point rencontré lors de l'analyse d'un contour intérieur est une séparation, et le dernier point est une réunion.

De l'analyse de ces contours, on peut tirer des relations entre les divers points de tangence :

- Pour un objet ne présentant aucun trou, s'il y a plusieurs débuts, il y a nécessairement des réunions. Chaque début représente une partie de l'objet. Du fait de l'unicité de l'objet, ces parties doivent nécessairement se réunir. De même, si des parties de l'objet donnent plusieurs fins, cela implique que des parties de celui-ci se sont divisées pour donner lieu à des séparations.

De ces constatations on déduit les relations suivantes :

$$N_{RE} = N_{DE} - 1 \quad \text{ou} \quad N_{DE} - N_{RE} = 1 \qquad (1)$$

N_{RE} = nombre de réunions sur le contour extérieur.

N_{DE} = nombre de débuts sur le contour extérieur.

$$N_{SE} = N_{FE} - 1 \quad \text{ou} \quad N_{FE} - N_{SE} = 1 \qquad (2)$$

N_{SE} = nombre de séparations sur le contour extérieur.

N_{FE} = nombre de fins sur le contour extérieur.

Si N objets sans trou sont présents dans le même plan d'analyse, on aura :

$$\sum_{i=1}^{N} N_{DE_i} - \sum_{i=1}^{N} N_{RE_i} = N \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N} N_{FE_i} - \sum_{i=1}^{N} N_{SE_i} = 1 \qquad (4)$$

Des relations semblables existent pour les contours intérieurs. En effet, pour un objet S ne présentant qu'un seul trou, il suffit d'inverser l'objet, le trou apparaît alors comme un objet noir $\overline{S}$ sur fond blanc. Les relations (1) et (2) appliquées à $\overline{S}$ donnent :

$$\overline{N_{DE}} - \overline{N_{RE}} = 1 \qquad (5)$$

$$\overline{N_{PE}} - \overline{N_{SE}} = 1 \qquad (6)$$

ou :

$\overline{N_{RE}}$ = le nombre des réunions du contour de $\overline{S}$.

$\overline{N_{DE}}$ = le nombre des débuts du contour de $\overline{S}$.

$\overline{N_{SE}}$ = le nombre des séparations du contour de $\overline{S}$.

$\overline{N_{FE}}$ = le nombre des fins du contour de $\overline{S}$.

L'objet étant inversé, on doit faire une transposition entre les points de tangence observés, c'est-à-dire :

Un début pour $\overline{S}$ correspond à une séparation pour S.

Une séparation pour $\overline{S}$ correspond à un début pour S.

Une fin pour $\overline{S}$ correspond à une réunion pour S.

Une réunion pour $\overline{S}$ correspond à une fin pour S.

Une fois ramenées à S, les relations (5) et (6) s'écrivent ainsi :

$$N_{SI} - N_{FI} = 1 \qquad (7)$$

$$N_{RI} - N_{DI} = 1 \qquad (8)$$

L'indice I indique que les points de tangence sont situés sur le contour intérieur.

Si un objet possède m trous, on aura :

$$\sum_{i=1}^{m} N_{RI}\, i - \sum_{i=1}^{m} N_{DI}\, i = m \qquad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{m} N_{SI}\, i - \sum_{i=1}^{m} N_{FI}\, i = m \qquad (10)$$

A partir des relations (1) et (9) on conclut que si un objet possède m trous, on a :

$$\left(N_{RE} + \sum_{i=1}^{m} N_{RI_i}\right) - \left(N_{DE} + \sum_{i=1}^{m} N_{DI_i}\right) = m-1 \qquad (11)$$

D'où : $N_{RT} - N_{DT} = m-1$ ou

$$N_{DT} - N_{RT} = 1-m \qquad (12)$$

L'indice T, indique que les points de tangence sont situés sur tous les contours de l'objet, extérieur et intérieur. De même, à partir des relations (2) et (10), on déduit :

$$N_{FT} - N_{ST} = 1-m \qquad (13)$$

A partir des relations (12) et (13), on déduit :

$$N_{DT} + N_{ST} = N_{FT} + N_{RT} \qquad (14)$$

Dans le cas où l'image contient N objets, la relation (12) s'écrit :

$$N_D - N_R = N - \sum m \qquad (15)$$

$\sum m$ = l'ensemble de trous pour tous les objets.

L'analyse de cette importante relation (15) nous conduit à :

- Dans le cas d'une image à objet sans trou, on retrouve la relation (3) : $N_D - N_R = N$.
Cela nous conduit à 2 solutions pour dénombrer les objets sans trou :

a) On compte le nombre de débuts et on déduit le nombre de réunions ; le résultat obtenu nous donne le nombre d'objets.

b) Le dénombrement peut aussi se faire en cours d'analyse : à chaque rencontre d'une réunion, on décrémente le nombre de débuts déjà détectés. En fin d'image, le nombre de débuts restant correspond au nombre d'objets.

- Dans le cas d'une image où certains objets ont des trous, selon la relation (15), les solutions a) et b) décrites précédemment ne sont pas applicables.

Si les contours intérieurs fournissaient un nombre égal de réunions et de débuts, les solutions a) et b) seraient applicables. Mais la relation (8) indique le contraire.

La présence d'un trou résulte d'un dédoublement de l'objet suivi de la réunion des parties dédoublées. Si nous appelons cette réunion "réunion caractéristique du trou", celle-ci n'est rencontrée que lors de l'analyse du dernier point d'un contour intérieur car c'est à ce moment là que le contour se ferme formant un trou.

De ce qui précède il ressort que le dénombrement exact des objets implique, en un premier temps, le relèvement des points de tangence tels : début, fin, réunion, séparation. D'autre part, on doit aussi connaître le nombre de trous ou le nombre de réunions à ne pas décrémenter. Ce dénombrement des trous peut être rendu possible, comme nous le verrons ultérieurement, par un codage approprié des objets composant l'image.

I-5 NOTION DE CONTINUITE, DETECTION DES POINTS DE CONTOUR

Compte-tenu du système d'analyse considéré, on distingue deux types de continuité : la continuité horizontale, et la continuité verticale.

- On note une continuité horizontale entre deux points $P(y,x_1)$ et $P(y,x_2)$ situés sur une ligne d'analyse, si pour tous points situés sur le segment $\overline{P_1\ P_2}$, la fonction issue du signal d'analyse, $f(x,y)$ est invariante sur tout ce segment. D'où on peut déduire que les points composant le segment font partie soit du fond, soit de l'objet suivant la valeur de $f(x,y)$. Dorénavant, lorsque nous parlerons du segment, nous considérons celui-ci comme appartenant à l'objet.
Les points où il y a discontinuité correspondent aux contours de l'objet.
Si la transition de $f(x,y)$ est de 0 à 1, nous sommes en présence d'un contour gauche, alors que si $f(x,y)$ passe de 1 à 0, il s'agit d'un contour droit.

- Il existe une continuité verticale entre deux points $P_1(y_1,x)$ et $P_2(y_1 + \Delta_y, x)$ situés sur deux lignes successives si $f(x,y)$ a la même valeur en P_1 et P_2.
Il en résulte que tous points situés sur deux segments de deux lignes successives appartiennent à l'objet si une continuité verticale est détectée entre au moins deux points de ces segments.

Les points de tangence : réunion, séparation, début et fin peuvent être définis en fonction des continuités et discontinuités observées sur deux lignes successives.

- On note un début à la ligne L_n, si pour un segment présent sur la ligne L_n, on ne relève aucune continuité verticale entre un point quelconque de la ligne L_{n-1} est un point du segment.

- Une fin sera détectée à la ligne L_n, si on ne relève aucune continuité entre un point quelconque du segment présent à la ligne L_{n-1} et les points de la Ligne L_n.

- Une séparation sera détectée si on décèle une continuité entre deux points d'un segment situé sur la ligne L_{n-1} et deux points appartenant à deux segmentsdifférents situés sur la ligne L_n.

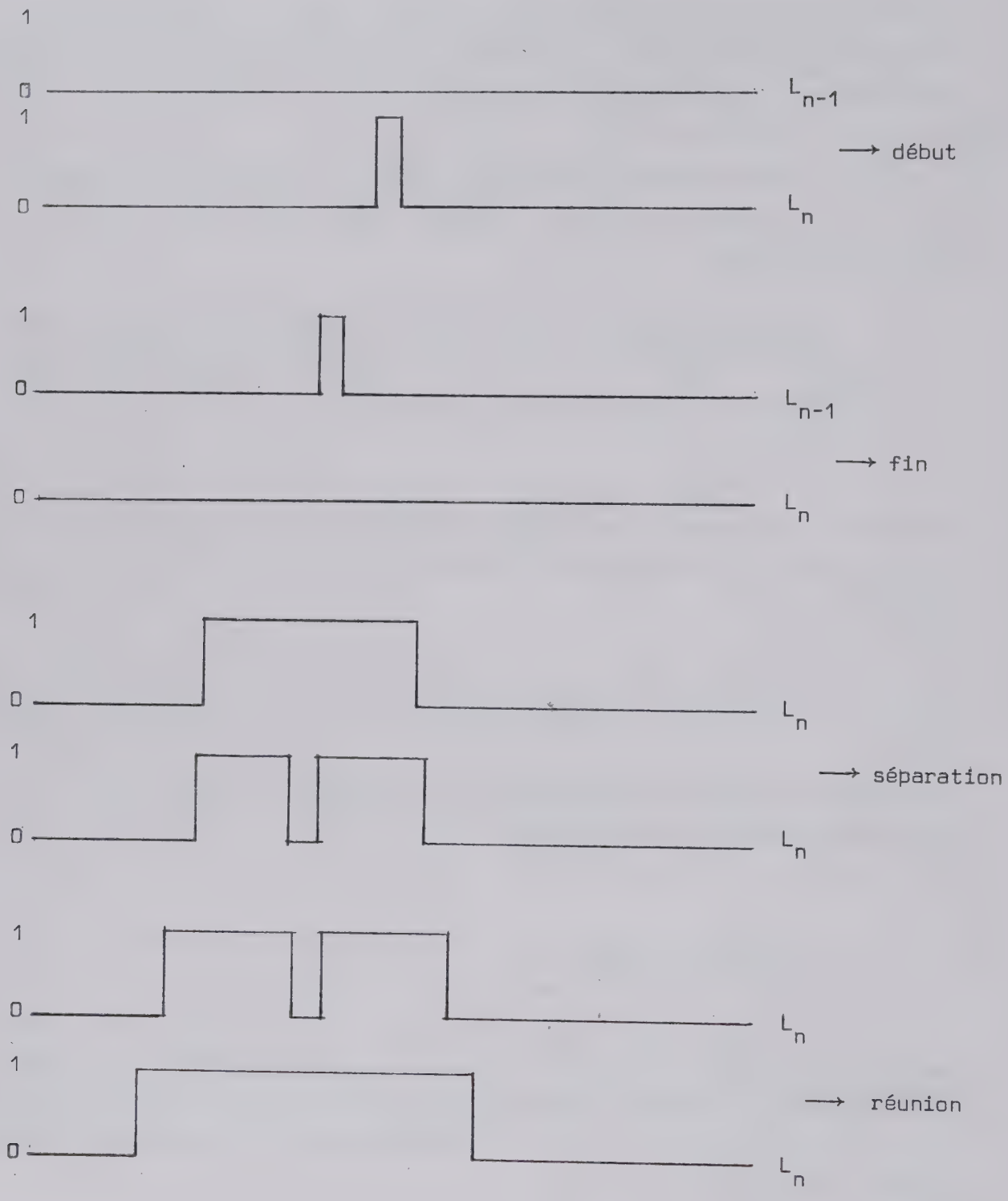
- Une réunion aura lieu à la ligne L_n lorsqu'une continuité verticale entre deux points appartenant respectivement à deux segments S_1 et S_2 situés sur la ligne L_{n-1} et deux points d'un segment S_3 situé sur la ligne L_n seront détectés.

Les débuts, séparations, et réunions sont détectés à la ligne sur laquelle ils se produisent, mais les fins ne sont détectées qu'une ligne plus tard.
La figure (3) illustre l'allure du signal d'analyse et la façon dont chacun des points de tangence est détecté.

I-6 PRINCIPE DU CODAGE

Lorsqu'il existe une multiplicité d'objets, il est indispensable de pouvoir les dissocier les uns des autres, afin de déterminer les caractéristique de chacun d'eux ; autrement dit, il faut pouvoir relever l'unicité de chaque objet. Cela nous conduit d'abord à l'application de la méthode pour le dénombrement des objets.

Or, nous avons vu que le dénombrement des objets réside dans la distinction entre la "réunion caractéristique du trou" et la réunion ordinaire reliant deux "branches" différentes de l'objet.



Sur L_n, le frond montant est l'"entrée".

Sur L_n, le front descendant est la "sortie".

Figure 3 - Forme de signaux correspondant aux points de tangence.

Etant donné que la détection des points de tangence se fait par récurrence, la reconnaissance des deux sortes de réunion n'est pas appréhendée lors de la détection.

Pour résoudre ce problème, et pour déterminer les caractéristiques de chacun des objets, nous avons été conduits à coder les objets au fur et à mesure qu'ils apparaissent à l'analyse pour la première fois. Il s'ensuit que :

1) Le premier objet rencontré aura le code C_1 et le deuxième aura le code C_2 et ainsi de suite.

2) L'attribution de code ne se fait que lors de la détection d'un "début".

3) Chaque branche d'un objet dédoublé par une ou plusieurs séparations conservera le code de l'objet d'origine. Voir Figure 4.

4) Lors de la détection d'une réunion, on vérifie si les branches réunies sont de mêmes codes ou de codes différents. Dans le cas où les codes sont identiques, on conserve le code comme code unique et on détecte une "réunion caractéristique du trou". Dans le cas où les codes sont différents, on choisit un des deux codes comme code unique et on détecte une réunion normale. Voir figure 5.
Dans ce cas, on décrémente le nombre de débuts déjà rencontrés.

I-7 DENOMBREMENT

I-7-1 Vecteur de code

Nous venons de voir que le codage des objets permet de distinguer les deux types de réunion.

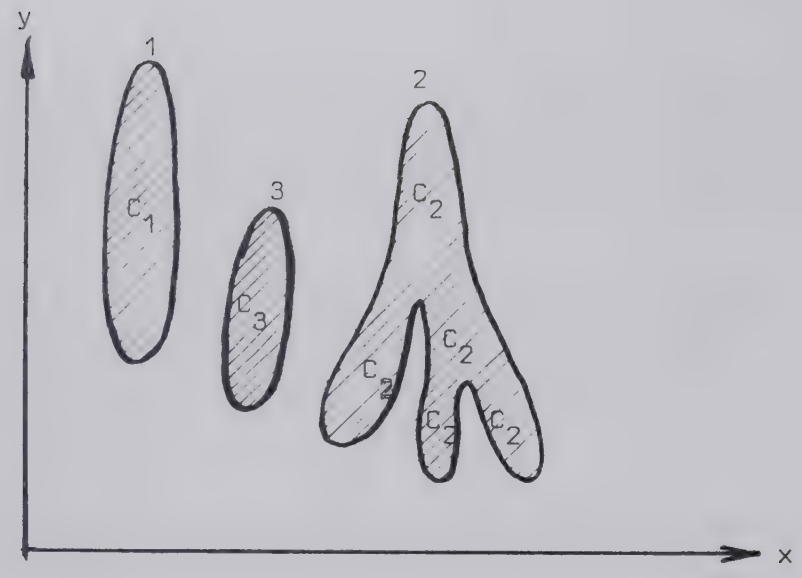
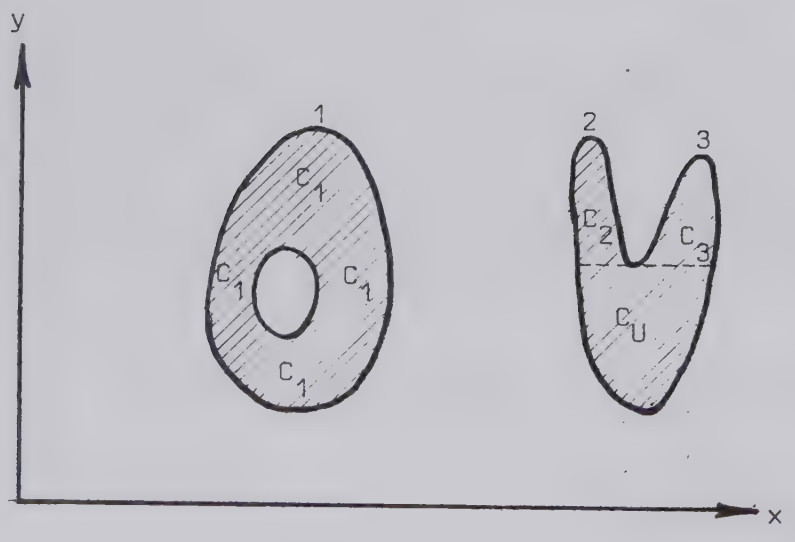


Figure 4



C_U = code unique

$C_U = C_2$ par exemple

Figure 5 - Principe du codage.

La vérification du code sous-entend que lors de l'analyse d'un objet nous connaissions le code qui lui était attribué auparavant. Nous devons donc connaître à chaque instant l'identité de l'objet en cours d'analyse.

Il est évident que la séquence d'apparition des objets au cours de l'analyse d'une ligne est la même que celle de la ligne précédente si aucun point de tangence n'est rencontré ; de ce fait, la séquence d'apparition des objets à la ligne L_{n-1} peut être considérée comme l'annonce de la ligne L_n. On est donc conduit à :

a) Former un "vecteur de code" qui évolue à chaque ligne d'analyse. La position des codes dans le vecteur traduit l'emplacement réel des différents objets rencontrés lors de l'analyse d'une ligne.

b) La construction du vecteur V_c s'effectue par récurrence selon :

$$V_{cn} = f\left(V_{cn-1}, F_n\right)$$

F_n est l'ensemble des points de tangence détectés à la ligne L_n.

Pour étudier l'effet de chacun des points significatifs sur l'évolution du vecteur, nous supposons d'abord que F_n est nul à la ligne L_n. Dans ce cas, nous savons que : V_{cn} est égal à V_{cn-1}. Cependant ceci n'est vrai qu'à partir du moment où tous les objets existant sur L_{n-1} ont été rencontrés sur L_n.

En réalité le vecteur se forme au fur et à mesure que les objets apparaissent. Le vecteur, à la ligne L_{n-1} étant égal :

$$V_{cn-1} = \left(C_1 , C_2 \ldots C_n\right)$$

il s'ensuit que la première entrée (contour gauche) appartient à l'objet C_1, car l'apparition d'un début est exclue par l'hypothèse émise précédemment. L'apparition des autres points significatifs étant aussi exclue, la prochaine information ne sera qu'une sortie, indiquant ainsi la fin de l'analyse de l'objet C_1 sur cette ligne. A ce moment, le code C_1 s'inscrit en V_{cn} et prend la première place.

Une prochaine entrée et puis une sortie donnent lieu à une transcription de C_2 en deuxième place dans V_{cn}, et ainsi de suite pour les autres codes.

Nous pouvons conclure que :

a) Il faut associer deux index aux vecteurs V_{cn-1} et V_{cn} ; l'un : I_{n-1}, indiquant le code de l'objet que nous allons éventuellement rencontrer afin de transcrire ce code en V_{cn} ; l'autre : I_n, désignant la place en V_{cn} dans laquelle le code sera transcrit.

b) Lorsque l'analyse quitte l'objet, on peut prévoir la rencontre d'un prochain objet. La détection d'une sortie indique ainsi la fin de l'analyse de l'objet et annonce la détection d'une entrée prochaine. La sortie, à elle seule, peut donc remplir le rôle d'une entrée dans la formation du vecteur.
Etant donné que la transcription du code d'un objet analysé se fait lors de la détection d'une sortie, l'index peut être incrémenté pour désigner le code de l'objet éventuel à rencontrer.

Notons donc que lors du commencement de l'analyse d'une ligne, l'index I_{n-1} est initialisé à la désignation du premier code.

Soit $C\ (I_{n-1})$ le code désigné par I_{n-1} dans V_{cn-1} et $C_a\ (I_n)$, la "case" pointée par I_n dans V_{cn}. Lors de la détection d'une sortie, nous devons donc effectuer :

$$C\ (I_{n-1}) \longrightarrow C_a\ (I_n)$$

$$I_{n-1} + 1 \longrightarrow I_{n-1}$$

$$I_n + 1 \longrightarrow I_n$$

Maintenant que nous avons vu la transformation du vecteur en l'absence des points particuliers, nous allons étudier le rôle de chacun de ces points dans la formation du vecteur.

I-7-2 Rôle des points de tangence dans la formation du vecteur de code

- Début

Au cours de la formation du vecteur, I_{n-1} indique l'objet que nous allons éventuellement rencontrer, ceci est vrai sauf si nous recevons un début ; car ce dernier signifie que l'objet en cours d'analyse n'est pas celui pointé par l'index, mais un objet nouveau.

Soit C le code à attribuer et N'_D le nombre d'objets estimés à la ligne L_n; lors de l'arrivée d'un début nous devons effectuer :

$$C \longrightarrow C_a \ (I_n)$$

$$C + 1 \longrightarrow C$$

$$N'_D + 1 \longrightarrow N'_D$$

$$I_n + 1 \longrightarrow I_n$$

Ceci est expliqué à la figure 6.

- Fin

L'arrivée d'une fin indique que l'objet dont le code est désigné par I_{n-1} n'est pas réapparu sur cette ligne ; de ce fait, le code ne doit pas être transcrit en V_n. L'index I_{n-1} est donc incrémenté.

Notons qu'un objet complexe peut avoir plusieurs branches analysées à plusieurs reprises sur une même ligne; son code pourrait donc occuper plusieurs place dans un vecteur. Il est évident que l'arrivée d'une fin ne fait disparaître que le code désigné par I_{n-1}. Voir figure 7.

- Séparation

Une séparation annonce une dissociation du contour entraînant ainsi une double analyse successive de l'objet à la ligne suivante.

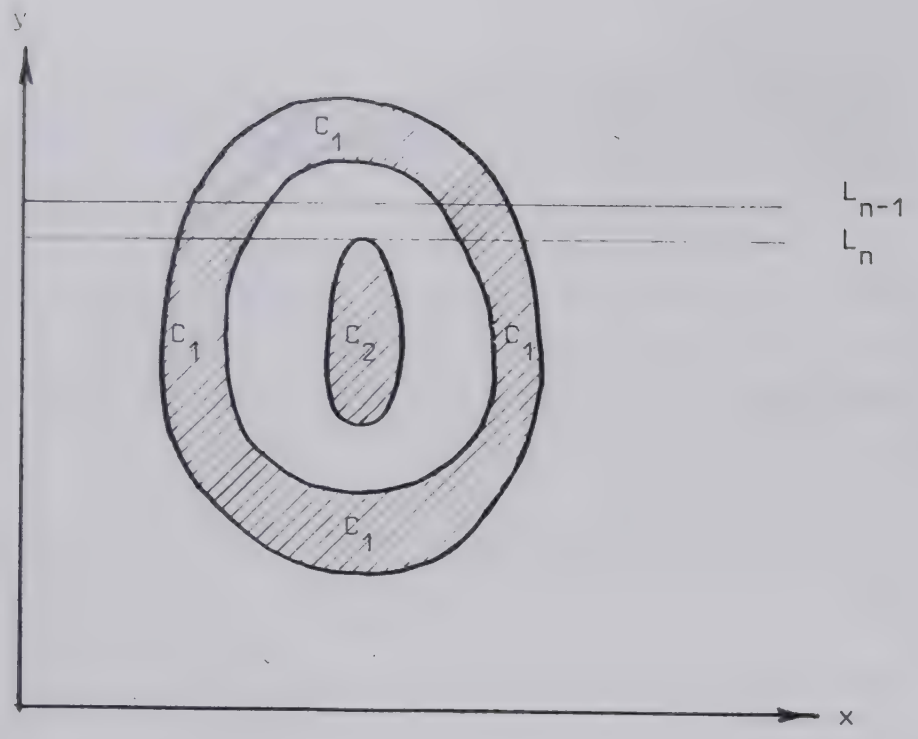


Figure 6 - Rôle du début dans la formation du vecteur.

1) Etat des vecteurs juste avant la détection du 2ème début

$V_{cn-1} = (C_1 , C_1)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_1 , ,)$ — I_n

$N'_D = 1$
$C_1 = 01$
$C = 02$

2) Etat des vecteurs juste après la détection

$V_{cn-1} = (C_1 , C_1)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_1, C_2, ,)$ — I_n

$N'_D = 2$
$C_1 = 01$
$C_2 = 02$
$C = 03$

3) Etat des vecteurs à la fin de la ligne L_n

$V_{cn-1} = (C_1 , C_1)$

$V_{cn} = (C_1, C_2, C_1)$

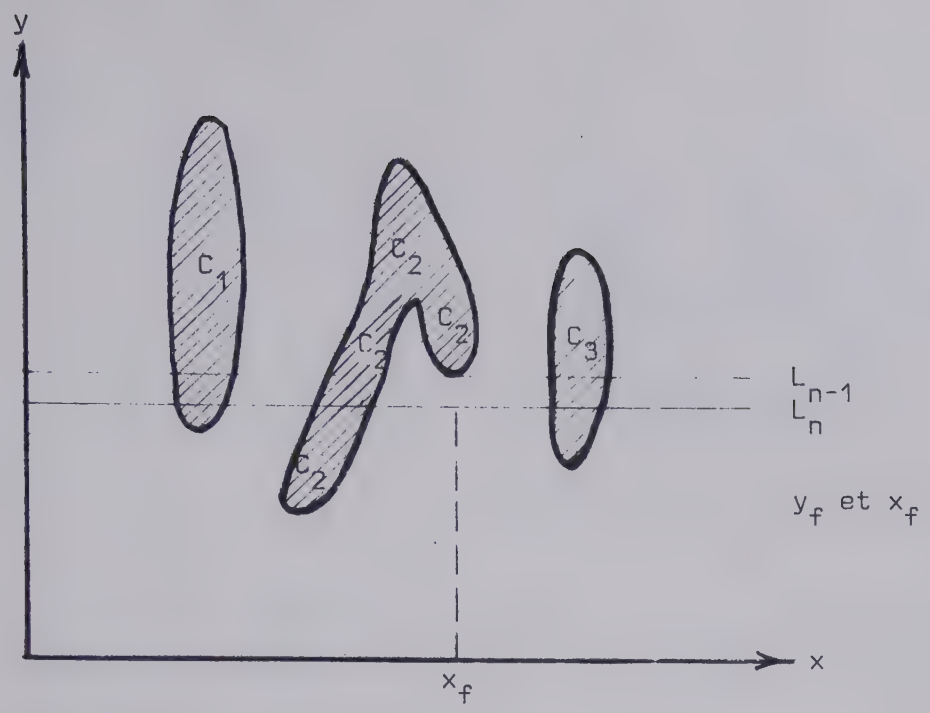


Figure 7 - Rôle de fin dans la formation du vecteur.

1) Etat des vecteurs juste avant la détection de la fin

$V_{cn-1} = (C_1 , C_2 , C_2 , C_3)$

I_{n-1}

$V_{cn} = (C_1 , C_2 ,)$

I_n

2) Etat des vecteurs juste après la détection de la fin

$V_{cn-1} = (C_1 , C_2 , C_2 , C_3)$

I_{n-1}

$V_{cn} = (C_1 , C_2 ,)$

I_n

3) Etat des vecteurs à la fin de la ligne L_n

$V_{cn-1} = (C_1, C_2, C_2, C_3)$

$V_{cn} = (C_1, C_2, C_3)$

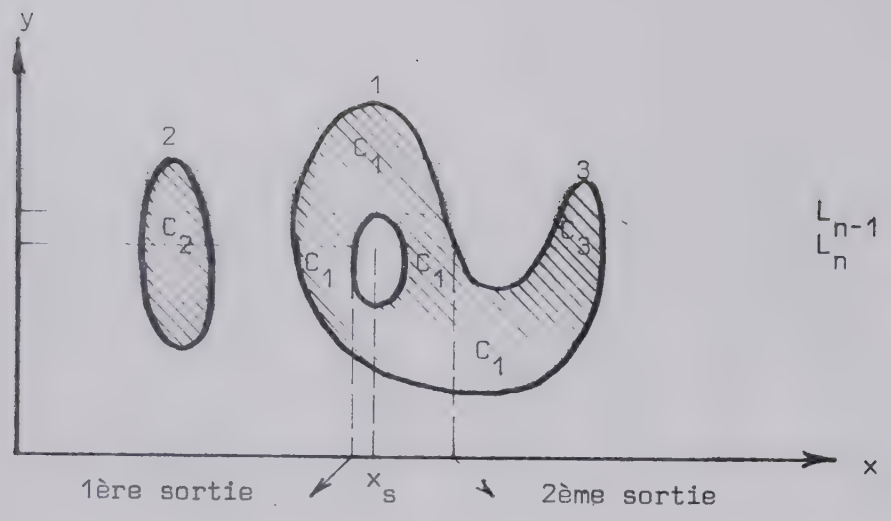


Figure 8 - Rôle de séparation dans la formation du vecteur.

Etats des vecteurs :

1) a- Avant la première sortie

$V_{cn-1} = (C_2 , C_1 , C_3)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_2 , \ , \ )$ — I_n

b- Après la première sortie

$V_{cn-1} = (C_2 , C_1 , C_3)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_2 , C_1 , \ )$ — I_n

2) Juste après la séparation

$V_{cn-1} = (C_2 , C_1 , C_3)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_2 , C_1 , \ )$ — I_n

3) Après la deuxième sortie

$V_{cn-1} = (C_2 , C_1 , C_3)$ — I_{n-1}

$V_{cn} = (C_2 , C_1 , C_1 , \ )$ — I_n

4) A la fin de la ligne L_n

$V_{cn-1} = (C_2 , C_1 , C_3)$

$V_{cn} = (C_2 , C_1 , C_1 , C_3)$

Le vecteur de code à la ligne L_{n-1} étant :

$$V_{cn-1} = \left(C_1 \ldots\ldots C_i \ldots\ldots C_n \right)$$

Lorsque C_i est le code de l'objet en question, il s'ensuit que le V_{cn} doit être :

$$V_{cn} = \left(C_1 \ldots\ldots C_i \, , \, C_i \ldots\ldots C_n \right)$$

Du fait que la séparation n'est détectée qu'à la ligne L_n, à la ligne L_{n-1} nous recevons une entrée et une sortie. Par contre, à la ligne L_n, nous détectons successivement : une entrée, une sortie, une séparation, une entrée, une sortie. Voir figure 8.

Quand nous détectons une séparation, le code C_i est déjà transcrit lors de la détection de la première sortie ; l'index I_{n-1} ne désigne plus C_i. Pour que le vecteur soit correctement construit, il suffit de décrémenter I_{n-1}, ceci va permettre une deuxième transcription du code C_i, lors de la détection de la prochaine sortie.

- Réunion

Le code de l'objet en cours d'analyse étant pointé par I_{n-1}, la détection d'une réunion signifie que :

a) l'objet en cours d'analyse se réunit avec celui placé tout de suite après.

b) Le code du premier étant C (I_{n-1}) , celui du deuxième est C $(I_{n-1}+1)$

c) Les codes des deux objets avaient occupé deux places dans le vecteur V_{cn-1}, mais à la suite de la réunion il doit y avoir un code unique qui occupera une seule place dans V_{cn}.

d) En comparant les deux codes, nous pouvons distinguer les deux sortes de réunion.

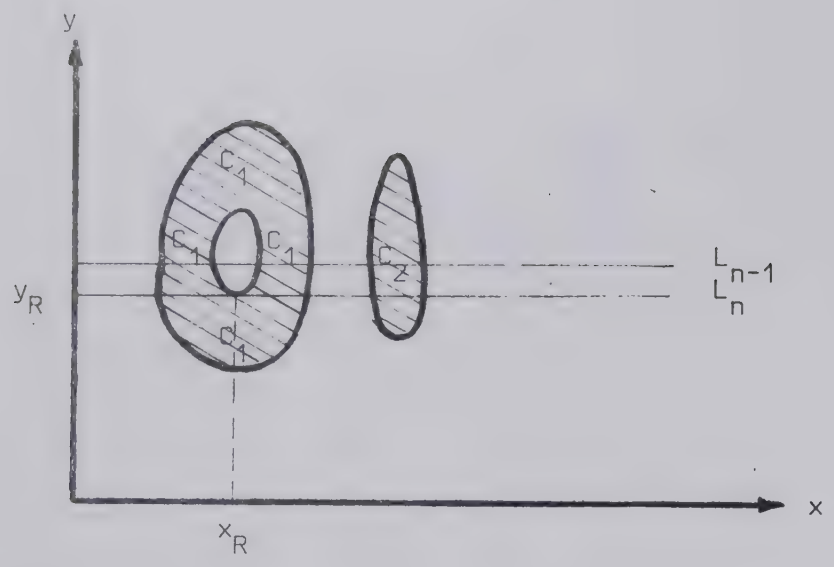


Figure 9 - Rôle de la réunion "caractéristique de trou" dans la formation du vecteur.

Etats des vecteurs :

1) Avant la détection de la réunion

$V_{cn-1} = \left(C_1 , C_1 , C_2\right)$

I_{n-1}

$V_{cn} = \left(, \right)$

I_n

2) Après la réunion

$V_{cn-1} = \left(C_1 , C_1 , C_2\right)$

I_{n-1}

$V_{cn} = \left(, \right)$

I_n

3) A la fin de la ligne L_n

$V_{cn-1} = \left(C_1 , C_1 , C_2\right)$

$V_{cn} = \left(C_1 , C_2\right)$

C_1 est choisi comme code unique.

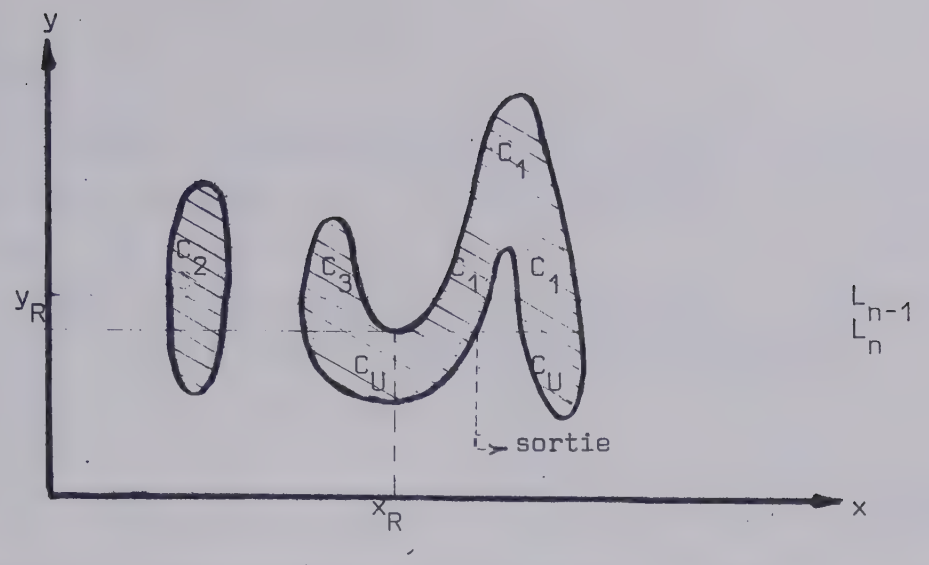


Figure 10 - Rôle de réunion ordinaire dans la formation du vecteur.

Etats des vecteurs :

1) Juste avant la réunion

$V_{cn-1} = \left(C_2 , C_3 , C_1 , C_1\right)$

I_{n-1}

$V_n = \left(C_2 , \right)$

I_n

2) Pendant la réunion C_1 = code unique

a) Avant la distribution de code unique

Pas de changement

b) Après la distribution

$V_{cn-1} = \left(C_2 , C_1 , C_1 , C_1\right)$

I_{n-1}

$V_{cn} = \left(C_2 , \right)$

I_n

$\begin{cases} N'_D - 1 \rightarrow N'_D \\ N'_D = 2 \end{cases}$

3) Après la sortie indiquée

$V_{cn-1} = \left(C_2 , C_1 , C_1 , C_1\right)$

I_{n-1}

$V_{cn} = \left(C_2 , C_1 , \right)$

I_n

4) A la fin de la ligne L_n

$V_{cn-1} = \left(C_2 , C_1 , C_1 , C_1\right)$ $\qquad N'_D = 2$

$V_{cn} = \left(C_2 , C_1 , C_1\right)$

Dans le cas de codes identiques, l'objet garde le même code. Puisque le code doit être transcrit une seule fois, l'index I_{n-1} est incrémenté. Voir figure 9.

Dans le cas de codes différents, le premier peut être choisi comme code unique. Ainsi, dans le vecteur V_{cn-1}, nous remplaçons partout, où il est présent à l'index, le deuxième code par le code unique. Cette attribution de code unique se fait aussi dans le vecteur de code V_{cn}. Comme dans le cas de codes identiques, l'index I_{n-1} est incrémenté; par contre le nombre d'objets estimés est décrémenté. Voir Figure 10.

L'organigramme correspondant au dénombrement précédemment décrit est présenté à la figure 11.

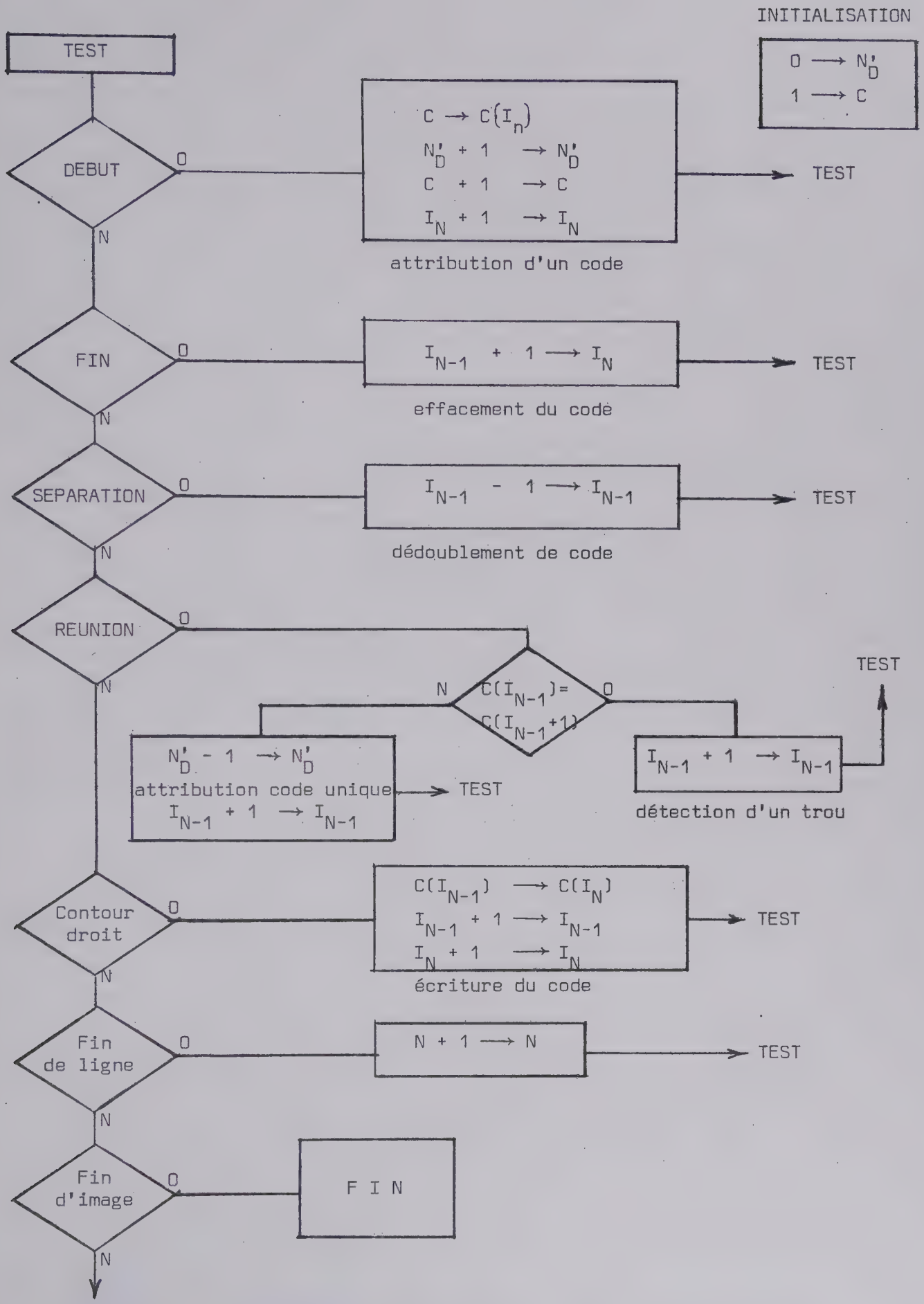


Figure 11 - Organigramme correspondant au comptage.

CHAPITRE II

IMAGE DISCRETE
EXTRACTION DES CARACTERISTIQUES

INTRODUCTION

L'étude que nous avons faite au premier Chapitre concerne une image "continue". En pratique, ce cas idéal ne peut pas être envisagé pour trois raisons :

- Tout capteur d'image réalise un échantillonnage spatial (ligne d'analyse sur les caméras de télévision conventionnelles, domaines élémentaires sur les systèmes à CCD).

- Le traitement du signal image par un organe de calcul numérique impose une discrétisation permettant le stockage et la manipulation des données.

- Les propriétés métriques de l'image ne peuvent être extraites qu'au moyen d'une quantification spatiale apportant l'unité de mesure.

Pour satisfaire les contraintes de rapidité et de faible coût que nous nous sommes imposées, nous nous sommes orientés vers le choix d'une caméra de télévision standard comme capteur d'image.

Dans notre étudele champ de vision comprend un fond blanc sur lequel apparaissent des objets noirs. En principe, le signal vidéo obtenu devrait posséder deux niveaux différents ; le niveau haut correspondant au blanc, et le niveau bas correspondant au noir.

En pratique, vu le manque d'homogénéité de l'éclairement ainsi que la non uniformité du fond et des objets, le signal vidéo présente plusieurs niveaux de gris, les niveaux noirs et blancs étant prédominants.

Pour supprimer les niveaux de gris intermédiaires et avoir deux niveaux bien distincts, il faut comparer le signal vidéo à une tension de seuil.

Le signal quantifié à deux niveaux doit être échantillonné temporellement pour obtenir la quantification spatiale horizontale nécessaire au traitement.

Pour l'image discrète résultant de l'échantillonnage, nous verrons que la continuité fait place à des relations de connexité ; les points de tangence sont remplacés dans l'image discrète par des "configurations particulières" que nous allons définir. Une fenêtre de six points nous permettra de relever chacune des configurations en un seul passage. En dernier lieu, nous étudierons un algorithme nous permettant d'extraire des paramètres tels que la surface, le périmètre, le rectangle circonscrit ... etc... de chacun des objets.

II-1 NUMERISATION DU SIGNAL VIDEO

II-1-1 Recherche du seuil

Un problème important dans le traitement des images basé sur la quantification en niveaux est la façon de choisir le seuil.

La quantification du signal vidéo à deux niveaux signifie que lorsque celui-ci franchit la tension de seuil, il est assimilé au niveau blanc ; lorsqu'il ne franchit pas ce seuil, il est assimilé au niveau noir. Si on appelle V_S la tension de seuil et S(t) le signal vidéo, on peut convenir que :

$$S(t) > V_S \longrightarrow \text{niveau blanc}$$

$$S(t) \leq V_S \longrightarrow \text{niveau noir}$$

Si on choisit V_S très grand, l'image quantifiée sera complètement noire ; si on choisit V_S petit, l'image sera blanche. Le seuil devra être choisi dans la dynamique du signal vidéo soit :

$$S(t)_{min.} < V_S < S(t)_{max.}$$

Parfois il est impossible de choisir d'avance une tension V_S convenant à toutes les images :

Le seuil peut être réglé soit manuellement, soit de façon automatique.

- Dans le cas manuel, un potentiomètre permet à l'opérateur d'ajuster le seuil afin que l'image résultante soit "convenable". C'est l'opérateur qui juge si le seuil est bon. Cette méthode a un inconvénient : si un changement de lumière ou de gain de la caméra a lieu, il faut réajuster le seuil.

- Dans le cas d'un réglage automatique, le seuil est indexé à certains paramètres de l'image. Ainsi il est possible d'asservir le seuil à une fraction de la valeur crête du signal vidéo. On a donc :

$V_S = a\, V_c$ $\qquad a < 1$

V_c = valeur de crête.

Une fois le potentiomètre ajusté manuellement, il n'y a pas de réglage à effectuer lors d'un changement d'image ou de gain de la caméra.

Une autre solution pour le choix automatique du seuil consiste à relever la distribution ou l'histogramme des niveaux de gris dans une image. La figure 12-a montre l'histogramme d'une image composée d'objets noirs sur fond blanc. Les deux zones donnent naissance à des pics sur l'histogramme. A partir de ces données, on peut choisir le seuil selon des critères bien définis. Par exemple, en prenant la valeur correspondant au fond de la vallée séparant les pics. On peut également choisir le seuil afin que le nombre de points blancs et de points noirs soit dans un rapport donné.

Un problème commun à toutes ces méthodes est le bruit présent sur le signal vidéo. Nous l'examinerons au Chapitre III.

II-1-2 Echantillonnage du signal vidéo

Le plan image peut être représenté par un rectangle de hauteur d et de largeur ℓ . La quantification verticale due aux lignes d'analyse fournit une unité de mesure spatiale. Si on appelle Δy la distance entre deux lignes on a :

$\Delta y = \frac{d}{N-1}$ $\qquad$ N = nombre de lignes horizontales

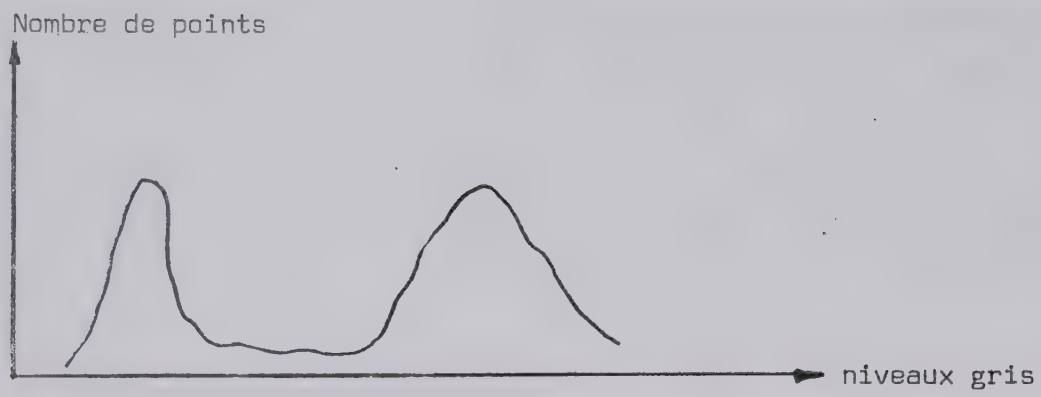


Figure 12-a : L'histogramme du signal vidéo issu de la caméra.

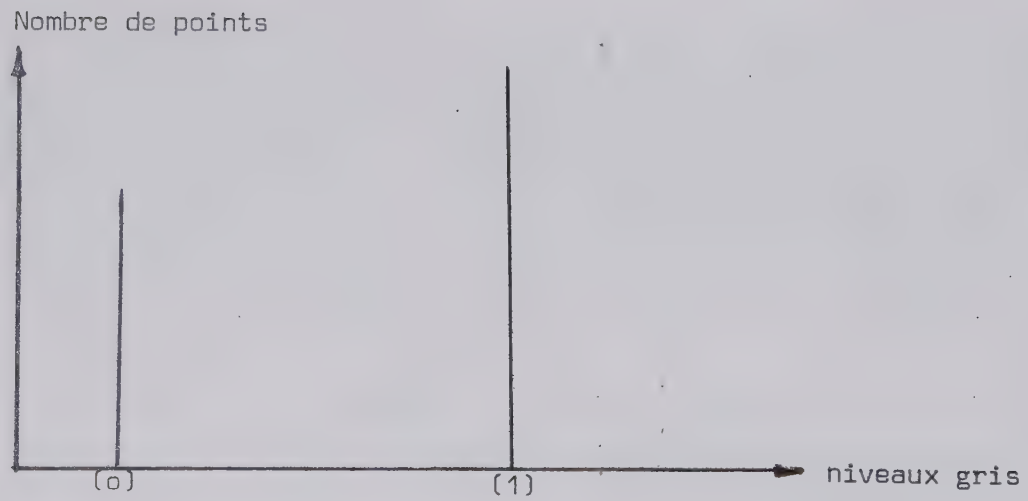


Figure 12-b : L'histogramme du signal vidéo logique.

Pour quantifier l'image dans le sens horizontal, on doit effectuer un échantillonnage temporel sur le signal vidéo. A la période de l'horloge d'échantillonnage, Th, correspond une unité de longueur Δx dans le sens horizontal.

Si on appelle Δx le pas d'échantillonnage horizontal on a :

$$\Delta x = \frac{m}{\ell}$$ m = le nombre de points sur une ligne.

Le nombre de lignes d'analyse est imposé par le standard. Afin de pouvoir utiliser des dispositifs conventionnels, nous avons choisi un standard de 312 lignes/50 Hz non entrelacées.

La quantification horizontale est obtenue à partir d'une horloge numérique. Le choix de la fréquence de cette horloge sera effectué selon des considérations d'ordre technologique que nous détaillerons au Chapitre III.

II-2 NOTION DE CONNEXITE

L'image discrète peut être considérée comme un tableau numérique ou une matrice de points de n lignes et m colonnes.

Les éléments de cette matrice seront notés $b(i,j)$ tel que $\forall i , \forall j$:

$$1 \leq i \leq n \qquad \text{et} \qquad 1 \leq j \leq m$$

i = indice ligne
j = indice colonne.

- Soit L la fonction de luminance en un point, pour une image à deux niveaux nous avons :

$L(i,j) = 0$ si $b(i,j)$ appartient au fond

$L(i,j) = 1$ si $b(i,j)$ appartient à l'objet.

- Nous appelons voisins de $b(i,j)$ tous les points $b(i_v,j_v)$ tel que :

$$\forall i_v \quad i-1 \leq i_v \leq i+1$$

$$\forall j_v \quad j-1 \leq j_v \leq j+1$$

avec i_v et $j_v \neq i, j$ simultanément.

De ce fait, un point a 8 points voisins. Voir figure 13-a.

- Un point $b(i,j)$ est dit isolé si :

$$L(i,j) = 1$$
$$L(i_v,j_v) = 0$$

- Nous appelons adjacents au point $b(i,j)$, les points

$$b(i,j-1) \; ; \; b(i,j+1) \; ; \; b(i-1,j) \; ; \; b(i+1,j)$$

Voir Figure 13-b.

- Un point $b(i,j)$ avec $L(i,j) = 1$ est dit à l'intérieur de l'objet si pour tous ses points adjacents, on a :

$$L(i_a,j_a) = 1$$

- Le point $b(i,j)$ avec $L(i,j) = 1$ est situé sur le contour de l'objet si au moins un de ses points adjacents appartient au fond.

- Le point $b(i,j)$ est situé sur le contour gauche si :

$$L(i,j) = 1 \quad \text{et} \quad L(i,j-1) = 0$$

- Le point $b(i,j)$ est situé sur le contour droit si :

$$L(i,j) = 1 \quad \text{et} \quad L(i,j+1) = 0.$$

- Il y a connexité entre $b(i,j)$ et un point voisin $b(i_v,j_v)$ si :

$$L(i,j) = 1 \quad \text{et} \quad L(i_v,j_v) = 1.$$

La connexité ainsi définie indique que si $b(i,j)$ appartient à l'objet C_x, $b(i_v,j_v)$ appartient aussi à l'objet C_x

- D'une façon générale, les points $b(i,j)$ et $b(i_n,j_n)$ sont connexes si :

$$L(i,j) = L(i_n,j_n) = 1$$

et si l'on peut trouver des points intermédiaires :

$b(i_o,j_o)$, $b(i_1,j_1)$, ... $b(i_{n-1}, j_{n-1})$ tel que :

$$L(i_o,j_o) = L(i_1,j_1) = \ldots L(i_{n-1},j_{n-1}) = 1$$

et que : $b(i_o,j_o)$ est voisin de $b(i,j)$

et que : $b(i_1,j_1)$ est voisin de $b(i_o,j_o)$ ...

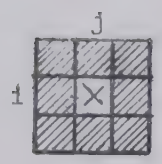
et que : $b(i_n,j_n)$ est voisin de $b(i_{n-1},j_{n-1})$.

- Si l'on ne considère qu'une seule ligne d'image, nous appellerons segment un ensemble de points connexes situés sur la ligne considérée.

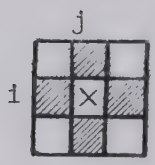
Soit $b(i,k)$ et $b(i,\ell)$ les points situés sur le contour gauche et le contour droit du segment, nous avons :

$$L(i,j) = 1 \quad \forall j \qquad k \leq j \leq \ell$$

$$L(i,k-1) = L(i,\ell+1) = 0$$

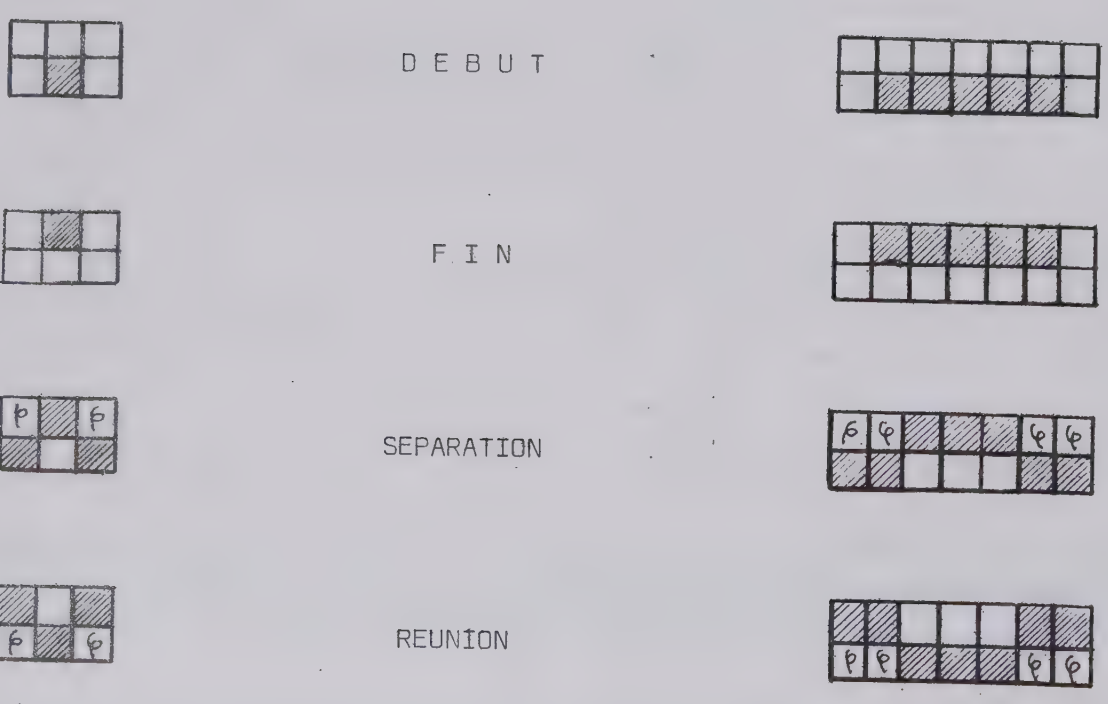


a) b(i,j) et ses voisins



b) b(i,j) et ses adjacents

c) Deux segments connexes



d)

e)

d) e) Configurations particulières.

Figure 13

- Un segment S est représenté par un triplet d'entiers et s'exprime ainsi :

$$S(i,k,\ell)$$

i est la ligne du segment
k est le contour gauche du segment et il est noté g(S)
ℓ est le contour droit du segment et il est noté d(S)

Il est évident que lorsque $k = \ell$, le segment se réduit à 1 seul point.

- Soit R et S deux segments situés sur la ligne i-1 et la ligne i, il y a connexité entre R et S s'il existe au moins un point sur S tel que ce point ait au moins un voisin situé sur R. Ceci peut s'exprimer ainsi :

$$g(R) \leq d(S) + 1$$

$$d(R) \geq g(S) - 1.$$

Voir Figure 13-c.

Naturellement si R appartient à l'objet C_x, S lui appartient aussi.

II-3 CONFIGURATIONS PARTICULIERES

Si l'on ne s'intéresse qu'à 2 lignes consécutives d'une image,on peut dire, de façon générale, qu'il peut y avoir p segments sur la ligne (i-1) connexes avec q segments sur la ligne i. Si nous appelons configurations les différentes façons dont la connexité peut se faire entre les segments des lignes i et (i-1), on distingue alors 5 configurations particulières à la base de toutes configurations : Voir Figure 13 d-e.

(1) Suite simple : $p = q = 1$.

Nous avons une suite simple lorsqu'un segment R est connexe avec un segment S.

(2) Début : $p = o$, $q = 1$

Un segment S (i,k,ℓ) est appelé début s'il n'est pas connexe avec un segment R à la ligne (i-1), c'est-à-dire :

$$L(i-1,j) = 0 \quad \forall j \qquad k-1 \leq j \leq \ell+1$$

(3) Fin : $p = 1$; $q = o$.

Le segment R $(i-1,k,\ell)$ est appelé fin s'il n'est pas connexe avec un segment S à la ligne i. On a :

$$L(i,j) = 0 \quad \forall j \qquad k-1 \leq j \leq \ell+1$$

(4) Séparation : $p = 1$, $q = 2$.

Lorsqu'un segment R sur la ligne (i-1) est connexe avec 2 segments S_1 et S_2 situés sur la ligne i tels que :

$$g(R) \leq d(S_2) + 1$$
$$d(R) \geq g(S_1) - 1$$
$$d(S_1) < g(S_1)$$

Notons que si $p = 1$ et $q > 2$, on a une succession de séparations.

(5) Réunion : $p = 2$, $q = 1$

Lorsqu'un segment S est connexe avec 2 segments R_1 et R_2, nous avons une réunion si :

$$d(R_1) < g(R_2)$$
$$g(S) \leq d(R_2) + 1$$
$$d(S) \geq g(R_1) - 1$$

Si $q = 1$ et $p > 2$ nous avons une suite de réunions.

Si $p \geq 2$ et $q \geq 2$ nous avons des réunions et des séparations successives.

II-4 DETECTION DES CONFIGURATIONS PARTICULIERES

II-4-1 Fenêtre à 6 points

Les points de tangence horizontale sont maintenant remplacés par des configurations déterminées par la connexité entre des segments de 2 lignes successives. La connexité entre les segments étant basée sur la connexité entre les points, la connaissance simultanée d'un point analysé $b(i,j)$ et de ses voisins situés sur la ligne i et i-1, permet de détecter les configurations particulières.

Nous appelons donc fenêtre de six points, le point $b(i,j)$ et ses points voisins :

$$b(i-1,j-1)\ ,\ b(i-1,j)\ ,\ b(i-1,j+1)\ ,\ b(i,j-1)\ ,\ b(i,j+1)$$

Lorsque l'analyse passe d'un point $b(i,j)$ au point suivant $b(i,j+1)$ la fenêtre se déplace d'un pas et prend un nouvel état. Cette fenêtre se déplace donc sur 2 lignes à la fois. Une logique de décision nous permet, en fonction des états de la fenêtre, de détecter les configurations possibles. Les figures 13-d et 13-e représentent les configurations particulières. On constate que les cas présentés à la figure 13-d sont directement détectables à la seule lecture de la fenêtre. Par contre, ceux présentés à la figure 13-e ne le sont pas.

- Dans le cas d'une réunion excédant la longueur de la fenêtre, la difficulté provient du fait qu'il n'existe aucun état de la fenêtre tel que l'on puisse détecter à la fois la connexité entre S et R_1, et S et R_2.

Pour une séparation, nous raisonnons d'une façon symétrique.

- Dans le cas d'un début excédant la longueur de la fenêtre, la difficulté vient du fait que dans aucun état de la fenêtre on ne puisse dire si le segment S est connexe avec R.

Pour une fin, nous raisonnons d'une façon symétrique.

Pour supprimer ces difficultés, nous avons introduit 2 variables binaires X et Y dont le rôle est le suivant :

II-4-2 Rôle de Y

a) Y est mis à 1 lorsque 2 segments R_1 et S sont connexes et que :

- 1 : à l'état suivant de la fenêtre la connexité ne sera plus détectable.

- 2 : le segment S est susceptible d'être connexe avec un segment R_2 à l'état suivant de la fenêtre.

Des 2 conditions précédentes, on déduit que :

- 1 : $b(i-1,j-1)$ est situé sur le contour droit de R_1 d'où :

$$L(i-1,j-1) = 1$$

$$L(i-1,j) = 0$$

- 2 : $L(i,j-1)$; $L(i,j) = L(i,j+1) = 1$

$$L(i-1,j+1) = 0.$$

b) Dans les états suivants de la fenêtre, Y restera à 1 tant que S est susceptible d'être connexe avec un segment R_2.

c) Y passe à zéro si :

- 1 : On détecte la connexité entre S et un segment R_2. Dans ce cas, une réunion est détectée.

- 2 : On trouve un état de la fenêtre tel que $b(i,j)$ est situé sur le contour droit du segment S.

Dans ce cas si :

$L(i-1,j+1) = 1$, Y passe à zéro et on revient au premier cas.

La figure 14-a montre le rôle de Y.

II-4-3 Rôle de X

a) X est mis à 1 lorsque deux segments S_1 et R sont connexes et que

- 1 : A l'état suivant de la fenêtre la connexité ne sera plus détectable.

- 2 : Le segment R est susceptible d'être connexe avec un segment S_2 à l'état suivant de la fenêtre.

Des 2 conditions précédentes, on déduit que :

- 1 : $b(i,j-1)$ est situé sur le contour droit de S_1

d'où : $L(i,j-1) = 1$

$L(i,j) = 0$

- 2 : $\forall$ $L(i-1,j-1)$ on a : $L(i-1,j) = L(i-1,j+1) = 1$

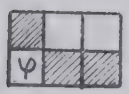
$L(i,j+1) = 0$

b) Dans l'état suivant de la fenêtre, X restera à 1 tant que R est susceptible d'être connexe avec un segment S_2.

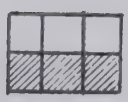
c) X passe à zéro si :

- 1 : On détecte la connexité entre R et un segment S_2. Dans ce cas, on détecte une séparation.

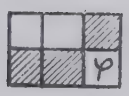
a) Rôle de Y pour les réunions et les débuts.



Y est mis à 1



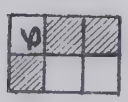
Y reste à 1



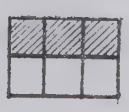
Y étant à 1, on détecte une réunion ; Y passe à zéro

Y passe à zéro ; cette configuration aurait indiqué un début si Y n'était pas égal à 1.

b) Rôle de X pour les séparations et les fins.



X est mis à 1



X reste à 1

X étant à 1, on détecte une séparation ; X passe à zéro.

X passe à zéro ; cette configuration aurait indiqué une fin si X n'était pas égal à 1.

Figure 14

- 2 : On trouve un état de la fenêtre tel que $b(i-1,j)$ est situé sur le contour droit du segment R. Dans ce cas si $L(i,j+1) = 1$, on se retrouve dans le cas précédent.

La figure 14-b montre le rôle de X.

II-4-4 Détection des contours gauche et droit

a) Détection du contour gauche.
Elle se fait lorsque nous avons :

$$L(i,j) = 1 \quad \text{et} \quad L(i,j-1) = 0$$

b) Détection du contour droit.
Elle pourrait se faire quand nous avons :

$$L(i,j) = 1 \quad \text{et} \quad L(i,j+1) = 0$$

Mais étant donné que la relation $(d(S) - g(S))$ n'exprime pas la longueur exacte du segment, nous avons préféré que la détection du contour droit se fasse à l'instant où l'analyse sort du segment, c'est-à-dire quand nous avons :

$$L(i,j-1) = 1 \quad , \quad L(i,j) = 0.$$

Si nous appelons $x_g(S)$ le moment de détection du contour gauche et $x_d(S)$ le moment de détection du contour droit, l'expression $(x_d - x_g)$ donne la longueur exacte du segment.

La figure 15 illustre la détection des différentes configurations particulières.

Note : On suppose qu'après la détection d'un début, le contour droit n'est pas détecté.
D'autre part, il est possible que deux configurations apparaissent simultanément (ex. : début-entrée,...).
Nous verrons au Chapitre III comment sont traitées ces combinaisons particulières.

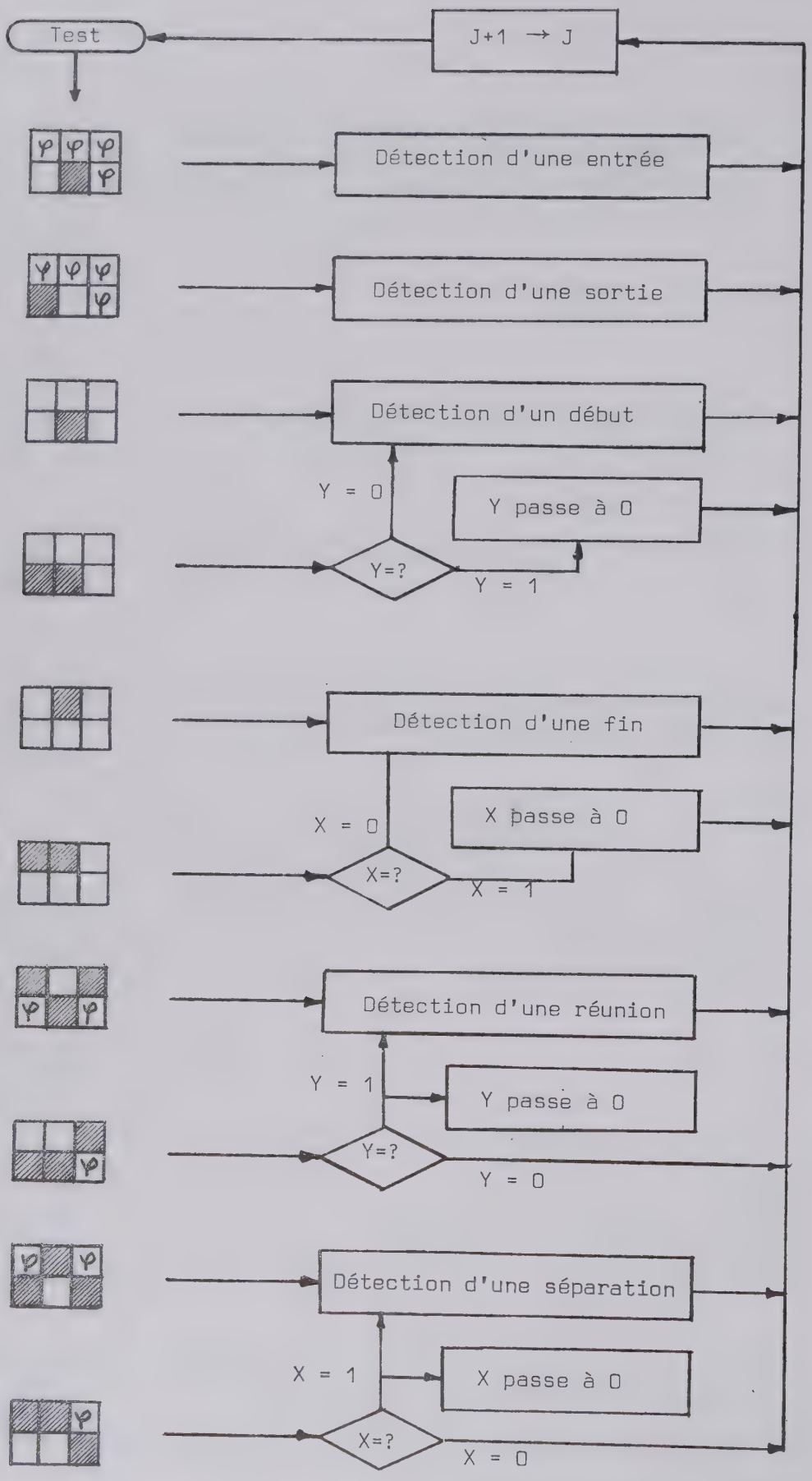


Figure 15 : Détection des configurations particulières.

II-5 MESURE DES PARAMETRES

Parallèlement au dénombrement, l'extraction des caractéristiques des objets doit se faire par récurrence; pour cela, les paramètres devraient être mis sous la forme :

$$P_n = f\left(P_{n-1}, p_n\right)$$

p_n est le paramètre calculé partiellement sur les segments de l'objet analysé à la ligne n et

P_{n-1} est le paramètre calculé sur l'objet pour les $(n-1)$ lignes précédentes.

L'évaluation des paramètres implique la connaissance des coordonnées de toutes détections. Pour cela, nous supposons que lors d'une détection, l'abcisse du point analysé est relevée.

II-5-1 Mesure de surface

La surface d'un point est égale à $\Delta x \times \Delta y$. Si on prend cette surface comme unité de mesure, la surface d'un objet est égale au nombre des points qui le composent.

La surface d'un segment (s_i) est donc égale à sa longueur, calculée de la façon suivante :

$$s_i = x_d - x_g$$

Soit S_{n-1} la surface de l'objet mesurée au cours de $(n-1)$ lignes d'analyse ; l'objet ayant plusieurs segments à la ligne n, sa surface totale sur n lignes d'analyse est obtenue par récurrence selon :

$$S_n = S_{n-1} + \sum s_i$$

II-5-2 Mesure de périmètre

Nous appelons périmètre d'un point $b(i,j)$ le nombre de ses points adjacents appartenant au fond. Etant donné que lors de l'analyse d'un point $b(i,j)$ seuls ses points adjacents sur les lignes i et $i-1$ sont connus, il convient de distinguer le périmètre supérieur L_{sup} connu à la ligne i, du périmètre inférieur L_{inf} connu à la ligne $i+1$.

Nous avons donc pour un point quelconque :

$$L_{sup} = 3 - \left(L(i,j-1) + L(i,j+1) + L(i-j,j) \right)$$

$$L_{inf} = 1 - L(i+1,j)$$

Si on considère un segment $S(i,k,\ell)$, on a alors :

$$L_{sup} = (x_d - x_g) + 2 - \left(\sum L(i-1,j) \right) \quad \forall j, k \leq j \leq \ell$$

$$L_{inf} = (x_d - x_g) - \left(\sum L(i+1,j) \right) \quad \forall j, k \leq j \leq \ell$$

Ainsi, à la ligne L_n, la mesure du périmètre d'un objet dépend de ses segments situés sur la ligne L_{n-1} et de ceux situés sur la ligne en cours. Un objet peut se présenter une ou plusieurs fois sur une ligne d'analyse, mais à chaque fois, il se présente sous la forme d'une configuration. De ce fait, c'est d'après les configurations que nous allons étudier la mesure du périmètre d'un objet à une ligne d'analyse.

- Si un segment S est un début à la ligne L_n, son périmètre est donné par :

$$L = (x_d(S) - x_g(S)) + 2.$$

- Si un segment R est une fin à la ligne L_{n-1}, son périmètre à la ligne L_n est calculé selon :

$$L = x_d(R) - x_g(R)$$

- Si nous avons une suite simple, c'est-à-dire, un segment R, sur la ligne L_{n-1}, connexe avec un segment S sur la ligne L_n ; nous avons :

$$L = |x_g(R) - x_g(S)| + |x_d(R) - x_d(S)| + 2$$

- Dans le cas d'une réunion entre deux segments R_1 et R_2 situés à la ligne L_{n-1} et un segment S situé à la Ligne L_n, le périmètre est donné par :

$$L = |x_g(S) - x_g(R_1)| + (x_g(R_2) - x_d(R_1)) + |x_d(S) - x_d(R_2)| + 2$$

- Dans le cas d'une séparation, c'est-à-dire un segment R sur la Ligne L_{n-1}, connexe avec deux segments S_1 et S_2 situés sur la ligne L_n, le périmètre est donné par :

$$L = |x_g(S_1) - x_g(R)| + (x_g(S_2) - x_d(S_1)) + |x_d(S_2) - x_d(R)| + 4$$

II-5-3 Détermination du rectangle circonscrit

On appelle rectangle circonscrit d'un objet C, le plus petit rectangle dans lequel l'objet s'inscrit.

A ce rectangle, que l'on notera R_{ect} (C), on associe un quadruplet (X_1, X_2, Y_1, Y_2) .

Y_1 désigne la ligne sur laquelle l'objet est analysé pour la première fois.
Y_1 est donc relevé lors de la détection du premier début d'un objet.

Y_2 est la ligne sur laquelle l'objet est analysé pour la dernière fois.
Y_2 est donc relevé lors de la détection de la dernière fin selon :

$Y_2 = Y_{F-1}$, Y_F est l'ordonnée de la dernière fin.

X_1 est l'abscisse du point le plus à gauche de l'objet.

On appelle $X_{1(n-1)}$ l'abscisse du point le plus à gauche de l'objet relevé au cours de (n-1) lignes d'analyse.

On appelle x_{1n} l'abscisse du point le plus à gauche de l'objet situé sur la ligne n.

Dans ce cas, à la fin de la ligne n, X_1 est mesuré selon :

$$X_{1n} = \min \left\{ X_{1(n-1)} \ , \ x_{1n} \right\}$$

avec $$x_{1n} = \min \left\{ \sum x_g(S) \right\}$$

X_2 est l'abscisse du point le plus à droite de l'objet. Par un raisonnement symétrique avec X_1, X_2 est mesuré selon :

$$X_{2n} = \max \left\{ X_{2(n-1)} \ , \ x_{2n} \right\}$$

avec $$x_{2n} = \max \left\{ \sum x_d(S) \right\} - 1$$

II-6 ETABLISSEMENT DES PARAMETRES DES OBJETS

L'établissement des paramètres des objets se fait grâce à la formation de deux matrices :

1°) La matrice-ligne qui regroupe l'ensemble des informations contenues dans une ligne d'analyse ;

2°) La matrice-image qui assemble toutes les informations fournies par les matrices ligne lors de l'analyse de l'image.

Pour détailler la formation de ces matrices, nous supposons d'abord qu'à la ligne n, il n'existe que des suites simples ; ensuite nous étudions l'influence des configurations particulières : début, fin ... etc ... sur la formation des matrices.

II-6-1 Etablissement des paramètres dans le cas de suites simples

a) Formation de la matrice ligne à la ligne n

La première ligne de cette matrice est le vecteur de code déjà étudié dans le premier Chapitre.

Etant donné que chaque segment, à une ligne d'analyse, occupe une place dans le vecteur de code, on peut lui associer toutes les informations le concernant. De ce fait, au dessous de chaque code, les abscisses du contour droit $x_d(S)$ sont disposées l'une après l'autre formant la deuxième et la troisième ligne de la matrice.

Le calcul des paramètres tels que surface et périmètre ou éventuellement d'autres paramètres peut se faire à la fin de chaque ligne. Pour faciliter la programmation, nous avons préféré calculer partiellement chaque paramètre sur le segment analysé. Ces paramètres sont associés aux codes et forment les autres lignes de la matrice ligne. La matrice aura donc la forme suivante à la ligne n :

$$M_{Ln} = \begin{pmatrix} C_1 \ldots\ldots C_i \ldots\ldots C_n \\ x_{g1} \ldots\ldots x_{gi} \ldots\ldots x_{gn} \\ x_{d1} \ldots\ldots x_{di} \ldots\ldots x_{gn} \\ s_1 \ldots\ldots s_i \ldots\ldots s_n \\ \ell_1 \ldots\ldots \ell_i \ldots\ldots \ell_n \end{pmatrix}$$

I_n et I_{n-1} sont les index associés aux matrices M_{Ln} et M_{Ln-1}, ils remplissent les mêmes rôles que dans le cas du dénombrement, c'est-à-dire que l'index I_{n-1} indique toujours le vecteur colonne correspondant à l'objet éventuellement rencontré ; l'index I_n désigne le vecteur colonne dans lequel le code et les coordonnées de l'objet doivent s'inscrire.

Soit $\begin{pmatrix} M_1 \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ M_5 \end{pmatrix} (I_{n-1})$ le vecteur colonne désigné par I_{n-1}

Soit $\begin{pmatrix} M_1 \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ M_5 \end{pmatrix} (I_n)$ le vecteur colonne désigné par I_n

lors de la détection d'une entrée l'abscisse x_g est relevée et nous faisons :

$$x_g \longrightarrow \begin{pmatrix} M_2 \end{pmatrix} (I_n)$$

la prochaine information sera une sortie et nous allons faire :

$$x_d \longrightarrow \begin{pmatrix} M_3 \end{pmatrix} (I_n)$$

la surface du segment est donc égale à :

$$s_i = x_d - x_g$$

on fait alors :

$$s_i \longrightarrow \begin{pmatrix} M_4 \end{pmatrix} (I_n)$$

La mesure du périmètre nécessite la connaissance des coordonnées du segment R à la ligne L_{n-1}. Ces coordonnées sont disposées en dessous du code pointé par l'index I_{n-1}. On fait donc :

$$\ell_i = |x_g(R) - x_g(S)| + |x_d(R) - x_d(S)| + 2$$

et $\ell_i \longrightarrow \begin{pmatrix} M_5 \end{pmatrix} (I_n)$

Ensuite, comme dans le cas du dénombrement, nous faisons :

$$\left(M_1\right)\ (I_{n-1}) \longrightarrow \left(M_1\right)\ (I_n)$$

$$I_n{}^{+1} \longrightarrow I_n$$

$$I_{n-1}{}^{+1} \longrightarrow I_{n-1}$$

Notons qu'un objet occupe plusieurs colonnes lorsqu'il est analysé à plusieurs reprises sur une même ligne d'analyse.

b) Formation de la matrice-image

La matrice-image se forme au fur et à mesure que les objets sont détectés ; dès la détection d'un début, on associe à l'objet une colonne de la matrice-image ; à la tête de cette colonne, figure le code attribué à l'objet détecté.

Au dessous du code qui représente l'identité de l'objet, sont disposés les différents paramètres ou informations qui le concernent. La forme générale de la matrice-image est donc :

$$M_I = \begin{pmatrix} C_1 \ldots\ldots C_i \ldots\ldots C_n \\ P_{1i} \ldots\ldots P_{1i} \ldots\ldots P_{1n} \\ P_{m1} \ldots\ldots P_{mi} \ldots\ldots P_{mn} \end{pmatrix}$$

La matrice-image évolue d'une ligne à l'autre car les paramètres sont calculés par récurrence ; ceci se fait de la façon suivante : supposons que l'analyse de la ligne L_n vient d'être effectuée, nous avons à notre disposition les deux matrices M_I et M_{Ln} ; l'une contient les paramètres calculés sur les (n-1) lignes précédentes, alors que l'autre contient les informations acquises à la ligne n. A ce moment l'index I_n est initialisé pour indiquer la première colonne associée au code C_1.

Au même moment, le code C_1 est recherché dans la matrice-image. On dispose alors les paramètres calculés au cours de (n-1) lignes précédentes sur l'objet C_1 et ceux calculés partiellement à la ligne n. Nous faisons donc :

- Pour la surface : $S_n = S_{n-1} + s_1$

- Pour le périmètre : $L_n = L_{n-1} + \ell_1$

- Pour X_1 : $X_{1n} = \min \left\{ X_{1n-1} , x_{g1} \right\}$

- Pour $X_2 = X_{2n} = \max \left\{ X_{2n-1} , (x_{d-2}) \right\}$

Notons que dans la matrice-image les informations concernant un objet ne se limitent pas à celles que nous venons de décrire ; il peut y avoir d'autres indications ou paramètres, nous les mentionnerons dans les prochaines sections.

Une fois que les divers paramètres concernant C_1 sont calculés, l'index I_n est incrémenté. Pour C_2 on effectue alors des calculs identiques à ceux éxécutés pour C_1 et ainsi de suite.

II-6-2 Rôle des début, fin, séparation, réunion, dans la formation des matrices

a) Début

Le début joue un rôle capital dans la formation des matrices. Chaque début donne naissance à un nouveau code dans les matrices. A ce code est associé un vecteur colonne dans chaque matrice servant au calcul des caractéristiques de l'objet.

En ce qui concerne la matrice ligne, le code C à attribuer figure en tête de la colonne pointée par l'index I_n.

On effectue alors l'opération suivante :

$$C \longrightarrow \left(M_1 \right) (I_n)$$

Le second élément du vecteur colonne est l'abscisse du contour gauche, x_g, détecté auparavant. Si on appelle x_D l'abscisse du début, nous avons

$$x_d = x_D + 1$$

et on fait :

$$x_d \longrightarrow \left(M_3 \right) (I_n)$$

La surface et le périmètre sont calculés selon :

$$s = (x_d - x_g)$$

$$\ell = (x_d - x_g) + 2$$

et on effectue :

$$s \longrightarrow \left(M_4 \right) (I_n)$$

$$\ell \longrightarrow \left(M_5 \right) (I_n)$$

Pour la matrice image, on initialise le vecteur colonne : nouveau code à la tête du vecteur colonne :

$$0 \longrightarrow S$$

$$0 \longrightarrow L$$

$$x_g \longrightarrow X_1$$

$$x_D \longrightarrow X_2$$

$$y_D \longrightarrow Y_1$$

$$0 \longrightarrow Y_2$$

Une fois les calculs effectués sur les matrices, comme dans le cas du dénombrement, on effectue :

$C + 1 \longrightarrow C$

$N'_D + 1 \longrightarrow N'_D$

$I_{n+1} \longrightarrow I_n$

b) Fin

- Matrice-ligne : la fin ne modifie en rien la matrice ligne à la ligne L_n. Cependant on doit calculer le périmètre inférieur du dernier segment et l'ajouter au périmètre total de l'objet.

$$\ell_{inf.} = \left(M_3\right)\left(I_{n-1}\right) - \left(M_2\right)\left(I_{n-1}\right)$$

$$\ell_{inf.} = x_d(R) - x_g(R)$$

On incrémente ensuite l'index I_{n-1}.

- Matrice-image : on relève Y_2 de la façon suivante :

$$Y_2 = \max\left\{Y_2 , y_{f-1}\right\}$$

c) Séparation

La séparation ne change rien dans les matrices ligne et image, mais le périmètre doit être modifié. En effet, nous avons vu que le périmètre de l'objet lorsqu'il se présente sous forme d'une séparation, doit être égal à :

$$L = \left|x_g(S_1) - x_g(R)\right| + \left(x_g(S_2) - x_d(S_1)\right)\left| + \right|x_d(S_2) - x_d(R)\left| + 4\right.$$

Etant donné que nous associons à chaque segment un périmètre, leur somme doit exprimer le périmètre donné ci-dessus.

Lors de la détection d'une séparation, nous avons déjà mesuré le périmètre par le segment S_1. Mais ce périmètre a été mesuré comme s'il y avait une suite simple entre S_1 et R d'où la nécessité de le modifier.

La modification doit être telle que lorsqu'on mesure le périmètre pour le segment S_2, automatiquement la sommation des deux périmètres exprime le périmètre exact de l'objet. Pour cela nous décrémentons les deux index et nous faisons :

$$\ell(S_1) = |x_g(S_1) - x_g(R)| + 2$$

$$\ell(S_1) \longrightarrow \left(M_S\right)\ (I_n)$$

$$x_d(S_1) \longrightarrow x_g(R)$$

$$I_{n+1} \longrightarrow I_n$$

De cette modification, il résulte que lorsque le contour droit de S_2 sera détecté, le périmètre associé à S_2 sera :

$$\ell(S_2) = \left(x_g(S_2) - x_g(R)\right) + |x_d(S_2) - x_d(R)| + 2$$

avec $\quad x_g(R) = x_d(S_1)$

et le résultat de la sommation de (S_1) et (S_2) sera le périmètre exact de l'objet à la ligne L_n.

d) Réunion

- Matrice-image : lorsque la réunion se fait entre deux objets de codes différents, C_i et C_j, le code C_i peut être choisi comme code unique.

Le vecteur colonne associé à C_j doit disparaître et l'on doit recalculer les divers paramètres du vecteur colonne associé à C_i en fonction du vecteur colonne associé à C_j :

$$P_{c_i} = f\left(P_{c_i}, P_{c_j}\right)$$

Dans le cas où la réunion se fait entre deux branches d'un même objet, il n'y a pas lieu de modifier la matrice et on détecte alors un trou.

- Matrice-ligne : l'objet ayant occupé deux colonnes dans la matrice M_{Ln-1}, celui-ci doit occuper une seule colonne dans la matrice M_{Ln}. Pour cela, il suffit d'incrémenter l'index I_{n-1}. Mais auparavant il faut vérifier si la réunion se fait entre deux objets de même code ou de code différent.

Dans le premier cas, aucun changement de code n'est nécessaire. Dans le second cas, un des codes est choisi comme code unique et on procède à son attribution comme dans le cas du dénombrement.

Cependant une modification du périmètre est nécessaire dans les deux cas, car dans la détection du contour droit du segment, la mesure du périmètre va se faire comme si les segments S et R_2 formaient une suite simple. Le périmètre mesuré sur une réunion est donné par :

$$L = |x_g(S)-x_g(R_1)| + (x_g(R_2)-x_d(R_1)) + |x_d(S)-x_d(R_2)| + 2$$

Afin que ce périmètre soit évalué correctement lors de la détection d'une réunion, on calcule d'abord :

$$\ell_1 = x_g(R_2) - x_d(R_1)$$

Cette valeur est ajoutée directement au périmètre total de l'objet dans la matrice image. Nous faisons ensuite :

$$x_g(R_1) \longrightarrow x_g(R_2)$$

Ainsi, à la détection du contour droit, nous avons :

$$\ell_2 = |x_g(S)-x_g(R_1)| + |x_d(S)-x_d(R_2)| + 2$$

et la somme de ℓ_1 et ℓ_2 donne le périmètre exact.

II-7 ORGANIGRAMME GENERAL

Nous examinons maintenant sous la forme d'un organigramme la méthode d'extraction des caractéristiques dont nous venons de développer les principales phases.

Soient :

1) C, le code à attribuer et N'_D, le nombre d'objets estimés.

2) I_{n-1} et I_n, deux index associés à la matrice-ligne M_{Ln-1} et M_{Ln}.

3) $\left[M\right](I_{n-1})$ et $\left[M\right](I_n)$, les vecteurs colonnes désignés par I_{n-1} et I_n.

4) P_n, le paramètre mesuré sur n lignes d'analyse.

5) p_n, le paramètre mesuré partiellement sur l'objet à la ligne L_n.

6) x_g, l'abscisse du contour gauche d'un objet.

7) x_d, l'abscisse du contour droit d'un objet.

L'organigramme de la méthode est présenté sur les figures 16-a et 16-b.

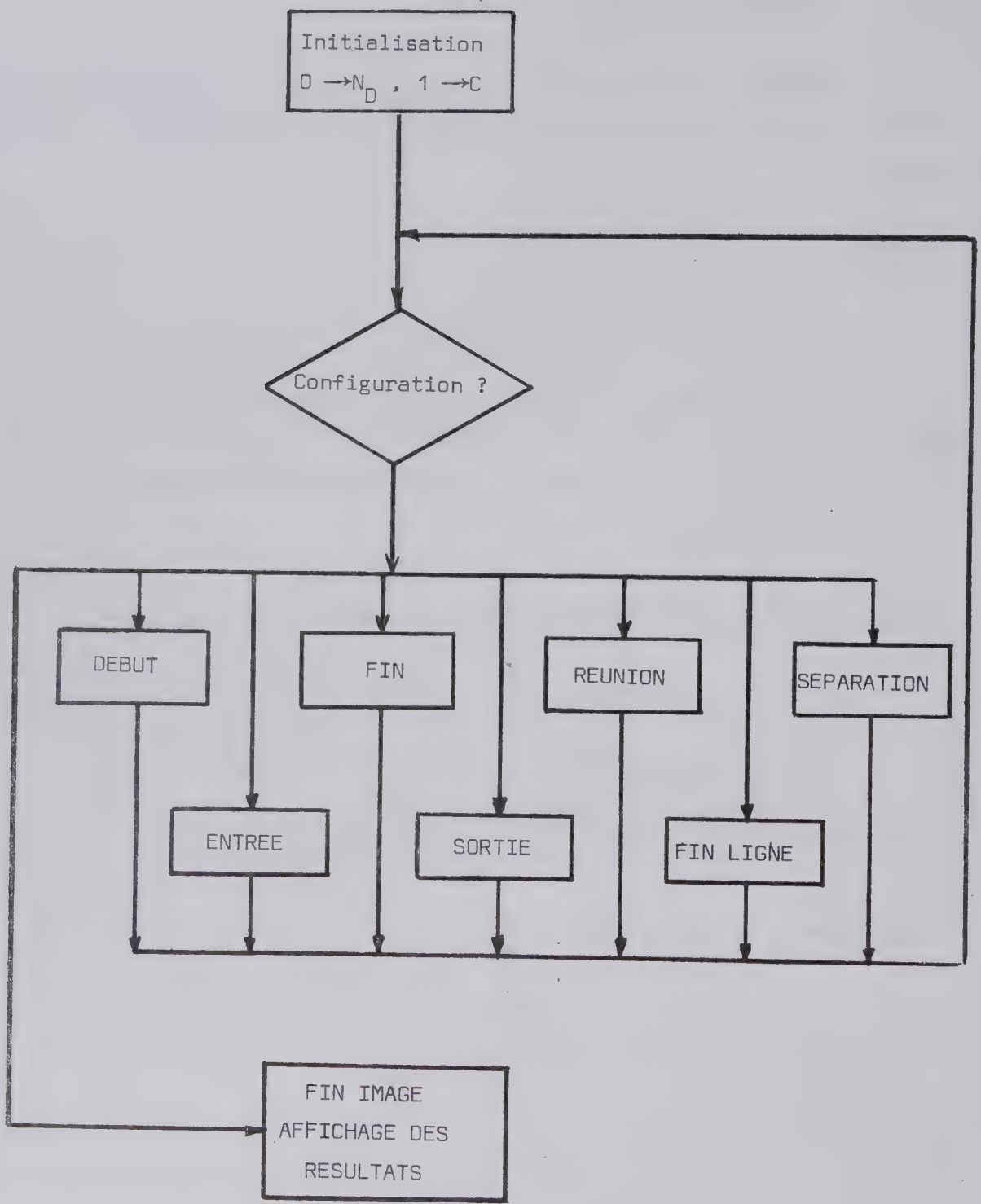


Figure 16-a : Organigramme général de l'extraction.

ENTREE

$x_g \longrightarrow (M_2)\ (I_n)$

DEBUT

$C \longrightarrow (M_1)\ (I_n)$

$C + 1 \longrightarrow C$

$N'_D + 1 \longrightarrow N'_D$

$x_d = x_D + 1$

$x_g \longrightarrow (M_3)\ (I_n)$

$s = x_d - x_g$

$s = (M_3)(I_n) - (M_2)(I_n)$

$s \longrightarrow (M_4)(I_n)$

$\ell = x_d - x_g + 2$

$\ell \longrightarrow (M_5)(I_n)$

$I_n + 1 \longrightarrow I_n$

Initialisation du vecteur colonne associé à l'objet nouveau dans M_I

$x_d \longrightarrow (M_3)(I_n)$

$s = (M_3)(I_n) - (M_2)(I_n)$

$s \longrightarrow (M_4)(I_n)$

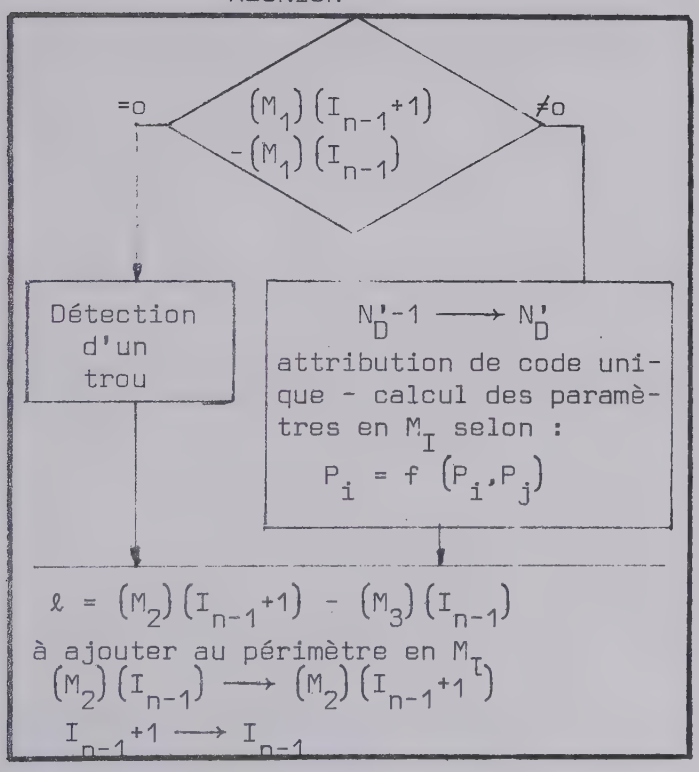
Mesure du périmètre (suite simple)

$\ell \longrightarrow (M_5)(I_n)$

$I_{n-1} + 1 \longrightarrow I_{n-1}$

$I_n + 1 \longrightarrow I_n$

REUNION



F I N

$\ell_{inf} = (M_3)(I_{n-1}) - (M_2)(I_{n-1})$

à ajouter au périmètre en M_I

$I_{n-1} + 1 \longrightarrow I_{n-1}$

SEPARATION

$I_{n-1} - 1 \longrightarrow I_{n-1}$

$I_n - 1 \longrightarrow I_n$

$\ell = |(M_2)(I_n) - (M_2)(I_{n-1})| + 2$

$\ell \longrightarrow (M_5)(I_n)$

$(M_3)(I_n) \longrightarrow (M_2)(I_{n-1})$

$I_n + 1 \longrightarrow I_n$

A la fin de la ligne, les paramètres sont calculés par récurrence ; on fait $N+1 \longrightarrow N$

Figure 16-b : Organigramme détaillé.

CHAPITRE III

REALISATION ET APPLICATION DE LA METHODE

INTRODUCTION

Le dispositif réalisé comprend trois parties interconnectées :

- une caméra vidéo conventionnelle,
- un ensemble câblé de traitement du signal vidéo,
- un micro-ordinateur bâti autour du microprocesseur MC 6800.

Le schéma synoptique du dispositif est présenté à la figure 17 . Le signal vidéo issu de la caméra, est tout d'abord mis sous forme logique dans un bloc de numérisation. Le signal obtenu est envoyé :

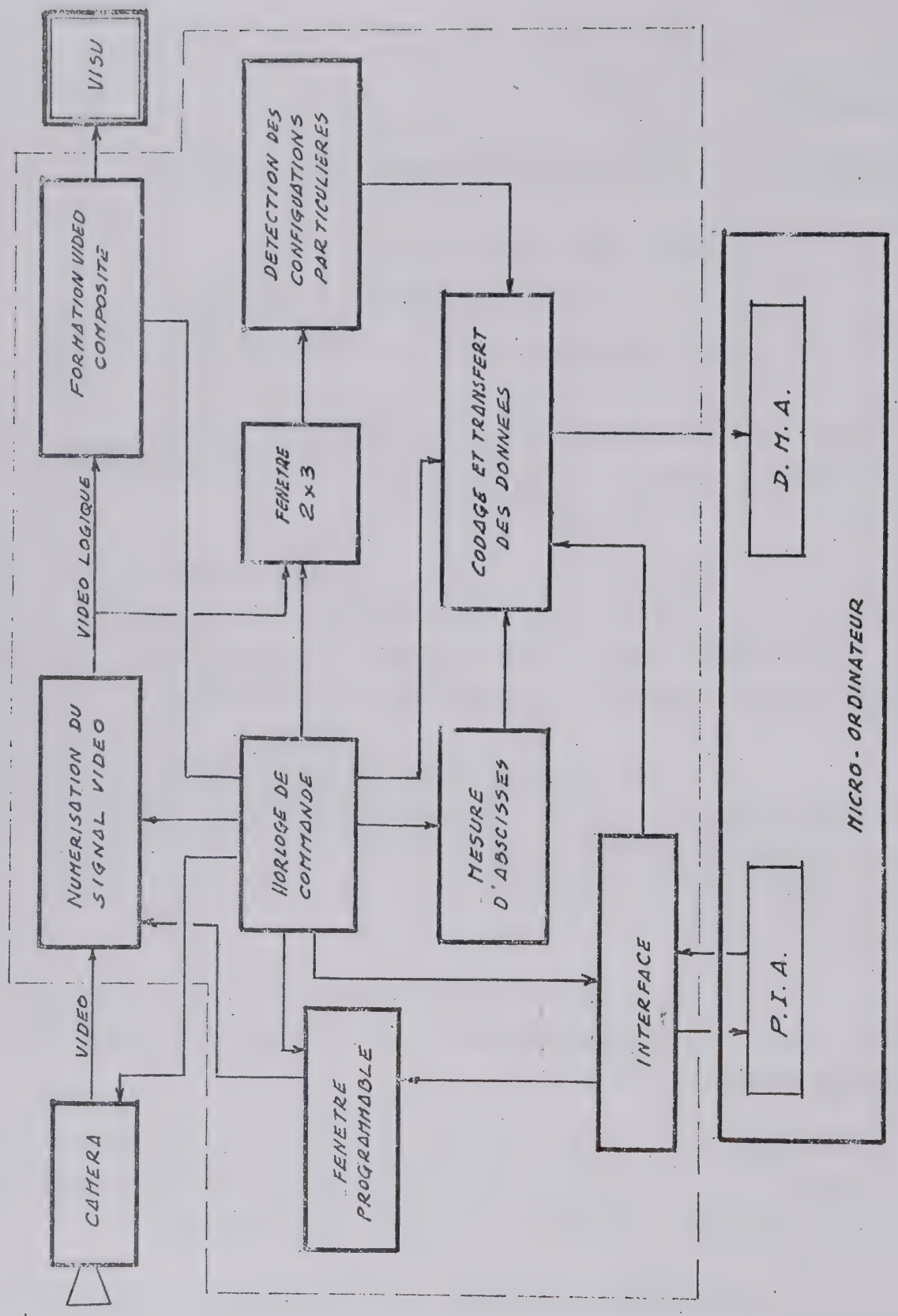
- d'une part, au bloc de formation du signal vidéo composite, afin de permettre la visualisation de l'image discrète ;
- d'autre part, au bloc de formation de la fenêtre 2x3 à partir de laquelle les configurations caractéristiques sont détectées.

A l'aide d'un circuit de mesure d'abscisse, l'abscisse de chacune des configurations est relevée lors de leur détection. L'identification des configurations particulières se fait en temps réel ; le temps minimum entre deux détections consécutives peut atteindre Th, c'est-à-dire la période d'horloge de quantification horizontale.

A la suite de la détection d'une configuration, le temps de traitement nécessaire à un micro-ordinateur, pour l'exécution de l'algorithme est largement supérieur à Th.

Pour cette raison, la méthode décrite semble difficilement applicable en temps réel, c'est-à-dire au cours même de l'analyse de l'image-vidéo. Nous avons donc adopté le principe d'une procédure en deux temps :

- d'une part, identification des configurations caractéristiques par l'ensemble câblé en un balayage et transfert simultané des informations codées par accès direct mémoire dans le micro-ordinateur ;
- d'autre part, traitement de la liste de ces informations par le micro-ordinateur.



SCHEMA SYNOPTIQUE DU DISPOSITIF

Figure 17

A la fin du transfert, deux listes sont mémorisées :

- configurations particulières,
- abscisses des configurations.

L'algorithme décrit précédemment est alors appliqué à ces 2 listes.

Par la suite, nous verrons qu'à partir de certaines caractéristiques relevées sur les objets, on parvient à une reconnaissance élémentaire des caractères manuscrits.

III-1 HORLOGE DE COMMANDE

L'image discrète est obtenue par échantillonnage spatial d'une image continue.

L'échantillonnage dans le sens vertical étant déjà réalisé par l'analyse télévision, seul l'échantillonnage horizontal doit être effectué.

Pour assurer la stationnarité de cet échantillonnage horizontal, la fréquence de l'horloge doit être un multiple entier de la fréquence ligne.

Pour des raisons technologiques, la fréquence de l'horloge d'échantillonnage horizontal a été choisie de 2 MHz.

Ceci permet, d'une part l'enregistrement en temps réel des données dans les mémoires du micro-ordinateur et, d'autre part, l'emploi d'un registre à décalage TMS 3114 pour réaliser le retard ligne , ce registre fonctionnant avec une fréquence horloge maximale de 2 MHz.

Le standard de balayage choisi est de 50 images/seconde et de 312 lignes non entrelacées ; ainsi la période ligne est de 64 µs, et la période image de 20 mS.

Le bon fonctionnement du dispositif nécessite la stabilité des fréquences de ligne et d'image, ainsi que celle de l'horloge de quantification. Dans ce but, nous avons réalisé une horloge digitale à l'aide d'un oscillateur piloté par quartz de 4 MHz.

Les différents signaux de synchronisation sont obtenus par division de la fréquence. Le schéma de principe de l'horloge est montré à la figure 18 .

Avec la période ligne de 64 µs et la fréquence de l'horloge de quantification de 2 MHz, une ligne entière comprend 128 points. Mais du fait du retour-ligne, seule une partie de ces points (m) est située sur l'image proprement dite. De même, à cause du retour-trame, seules n lignes sur 312 contiennent des informations visibles.

Soit α_L et α_i, respectivement les coefficients d'utilisation ligne et image, n et m sont calculées selon :

$$m = \alpha_L \times 128$$

$$n = \alpha_i \times 312$$

avec $\begin{cases} \alpha_L = 0{,}80 \\ \alpha_i = 0{,}95 \end{cases} \longrightarrow \begin{matrix} m = 104 \text{ points} \\ n = 296 \text{ lignes} \end{matrix}$

Le rapport entre la largeur ℓ de l'image et la hauteur d (format d'analyse) est normalement de 4/3. Pour avoir des unités de mesures égales, il convient d'avoir M/n = 4/3. Avec m = 104, nous avons :

$$n = \frac{3\ m}{4} = 76.$$

Ceci est obtenu lorsqu'on ne traite qu'une ligne d'analyse sur quatre. Dans ce but, nous avons réalisé un circuit qui nous permet de choisir une ligne d'analyse sur N.

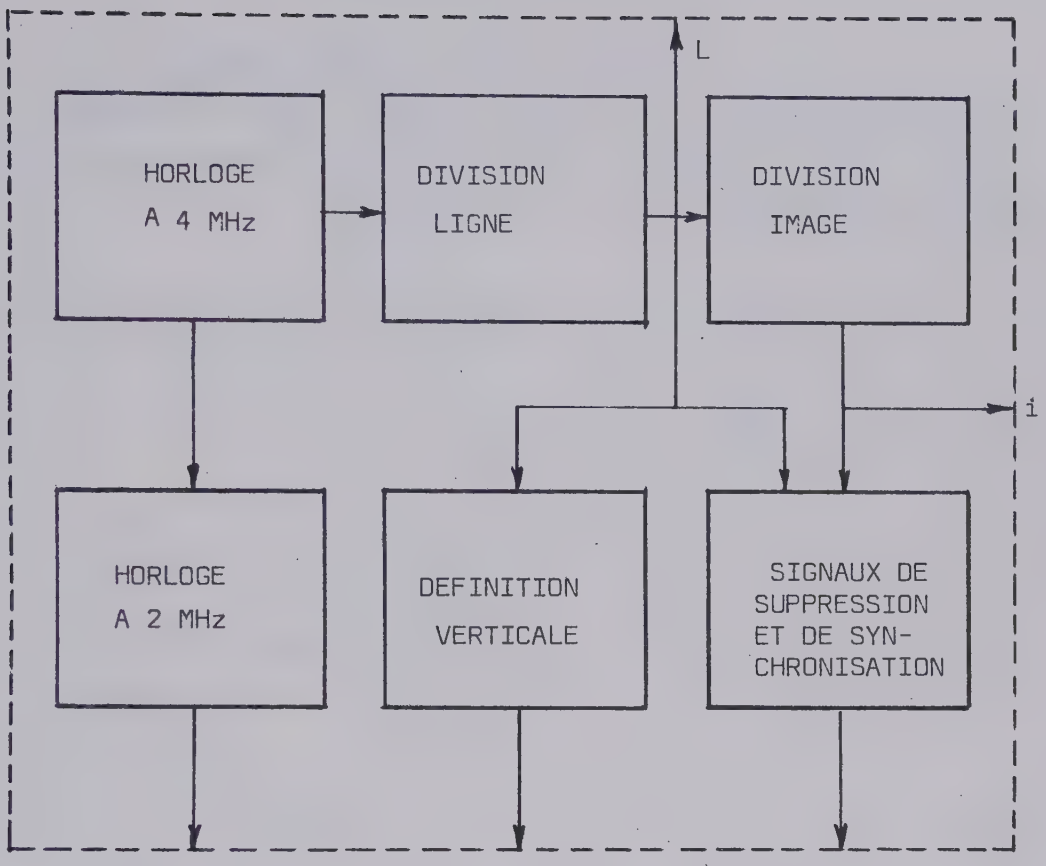


Figure 18 : Horloge de commande.

III-2 NUMERISATION DU SIGNAL VIDEO (figure 19)

La caméra utiliséeest synchroniséeà l'aide des signaux fournis par l'horloge de commande. Le signal analogique issu de la caméra est d'abord amplifié puis aligné sur le niveau de suppression. Un circuit de "clamping" a été réalisé à cet effet.

Le détecteur à seuil a pour rôle de comparer le signal vidéo à une tension de seuil et de fournir le signal vidéo logique selon la convention : 1 ⟶ niveau noir ; 0 ⟶ niveau blanc. Le contrôle du seuil peut être effectué de deux façons : manuelle ou asservie :

- En mode manuel, le seuil est obtenu à partir d'un diviseur de tension ;
- En mode asservi, le seuil est indexé à la valeur crête du signal vidéo.

A l'entrée d'échantillonnage du comparateur, est envoyé un signal F provenant du circuit de fenêtre programmable, dont le rôle sera justifié ultérieurement. Ainsi, le signal vidéo est traité uniquement à l'intérieur de la fenêtre.

La quantification horizontale du signal vidéo est réalisée à l'aide d'une bascule D. Sur le front montant de l'horloge, le signal vidéo est échantillonné et bloqué pour la durée de la période d'horloge. Le signal numérique obtenu est envoyé dans un circuit de formation d'une fenêtre à 2x3 points utilisée pour la détection des configurations particulières. D'autre part, afin de pouvoir contrôler en permanence les différents signaux synchrones avec l'analyse (image numérisée, points détectés ... etc ...), un bloc de formation d'un signal vidéo composite permet leur visualisation sur le moniteur de télévision.

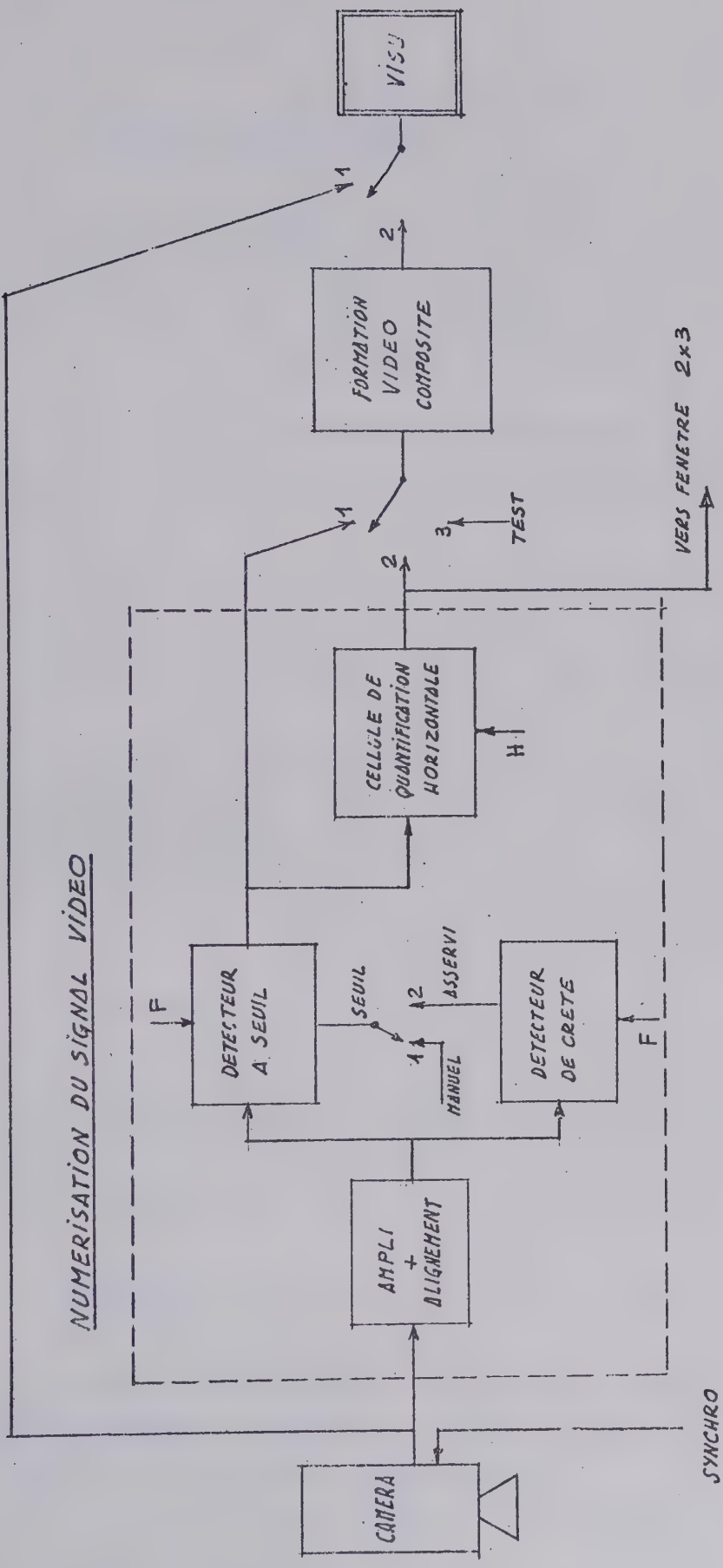
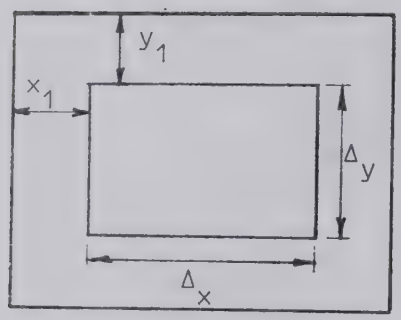
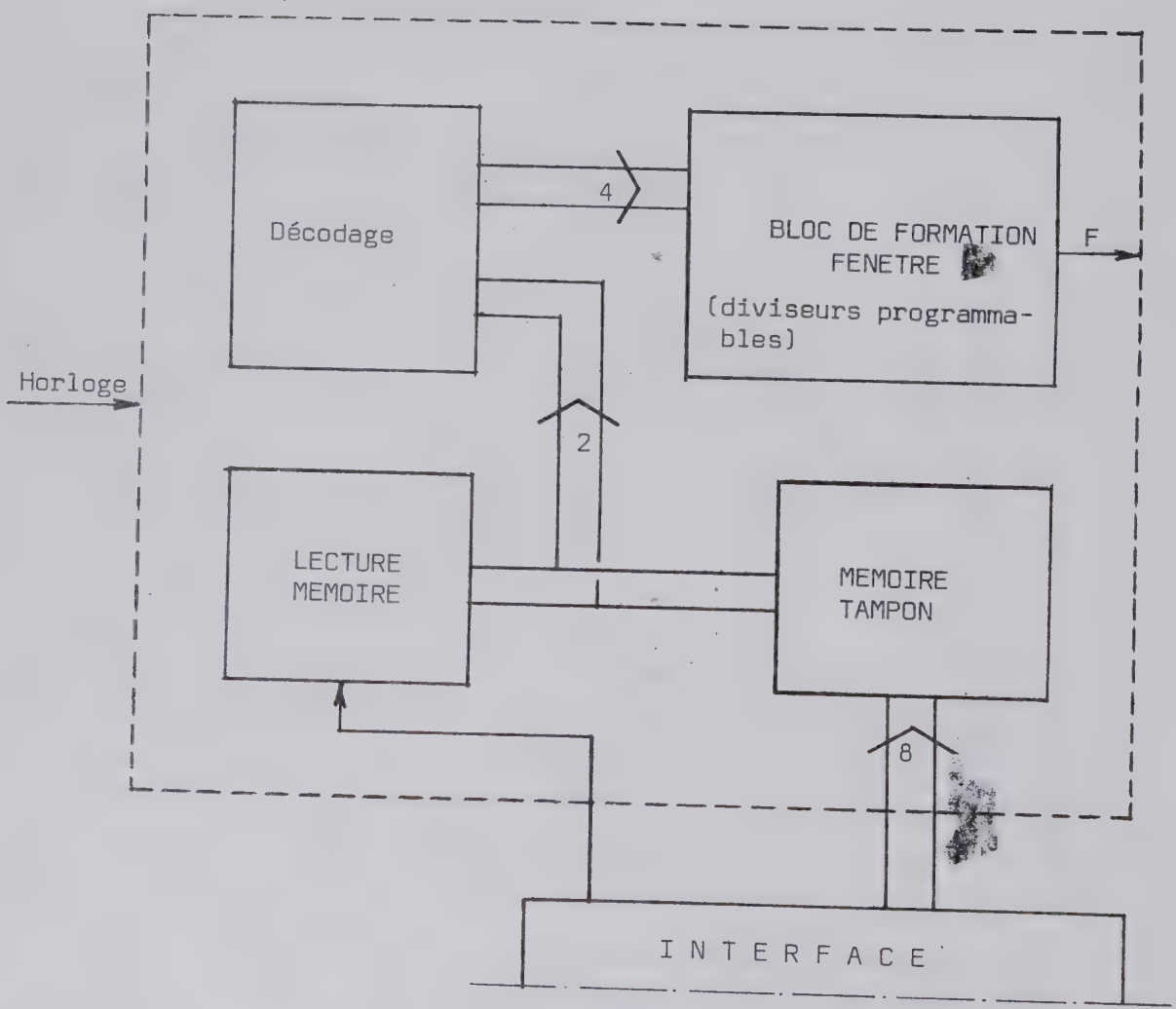

VISU
1
2
FORMATION VIDEO COMPOSITE
1
2
3
TEST
VERS FENETRE 2x3
CELLULE DE QUANTIFICATION HORIZONTALE
H
NUMERISATION DU SIGNAL VIDEO
F
DETECTEUR A SEUIL
SEUIL
2
ASSERVI
1
MANUEL
DETECTEUR DE CRETE
F
AMPLI + ALIGNEMENT
CAMERA
SYNCHRO

Figure 19



a) Position de la fenêtre dans le plan image.



b) Schéma synoptique de la fenêtre programmable.

Figure 20

III-3 FENETRE D'ECHANTILLONNAGE

Pour analyser une section particulière de l'image on doit isoler la zone choisie. Dans ce but nous avons utilisé une fenêtre d'échantillonnage spatial réalisée à partir d'un échantillonnage du signal vidéo dans le domaine temporel.

Si on considère une fenêtre de large Δ_x et de hauteur Δ_y, on peut associer à Δ_x une impulsion de τ_x et de fréquence-ligne. A la hauteur Δ_y est associée une impulsion de largeur τ_y et de fréquence-trame. Voir Figure 20-a .

Ce sont ces deux signaux qui fixent les dimensions de la fenêtre. La position de celle-ci est déterminée par le retard des impulsions τ_x et τ_y par rapport aux signaux de synchronisation ligne et trame.

Pour réaliser cette fenêtre, on connaît les solutions classiques à monostable ou à "rampe". Nous avons préféré une solution numérique car elle offre des possibilités supplémentaires. En effet, le programme de traitement fournissant le rectangle circonscrit de chaque objet, il est intéressant d'isoler chacun d'eux à l'intérieur de la fenêtre d'échantillonnage.

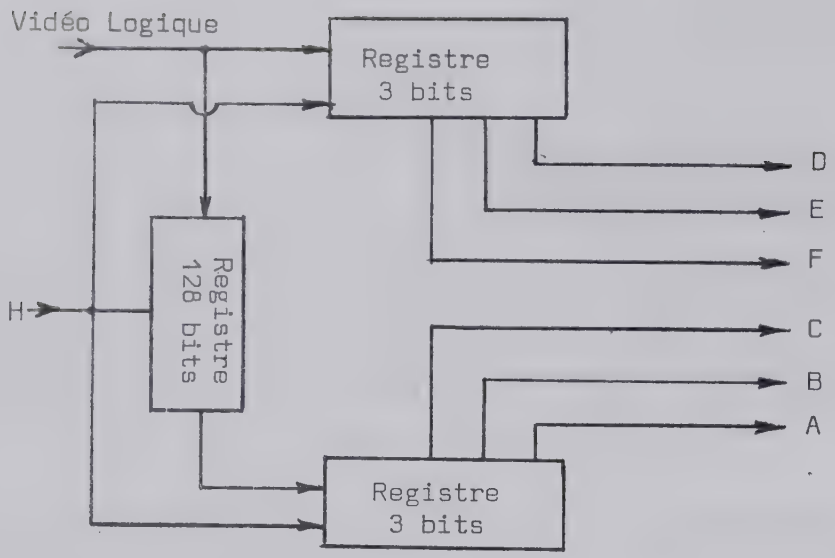
Son schéma synoptique est présenté à la figure 20-b .

Le microprocesseur inscrit dans une mémoire tampon les 4 valeurs x_1, y_1, Δ_x, Δ_y pendant le retour trame. En cours d'analyse, ces données mémorisées sont périodiquement présentées au bloc de formation du signal de fenêtre.

III-4 FENETRE A 2x3 POINTS

Le circuit de formation de la fenêtre 2x3 présenté figure 21-a comprend 2 registres à décalage de capacité 3 bits et 1 registre à décalage de capacité 128 bits attaqués par l'horloge.

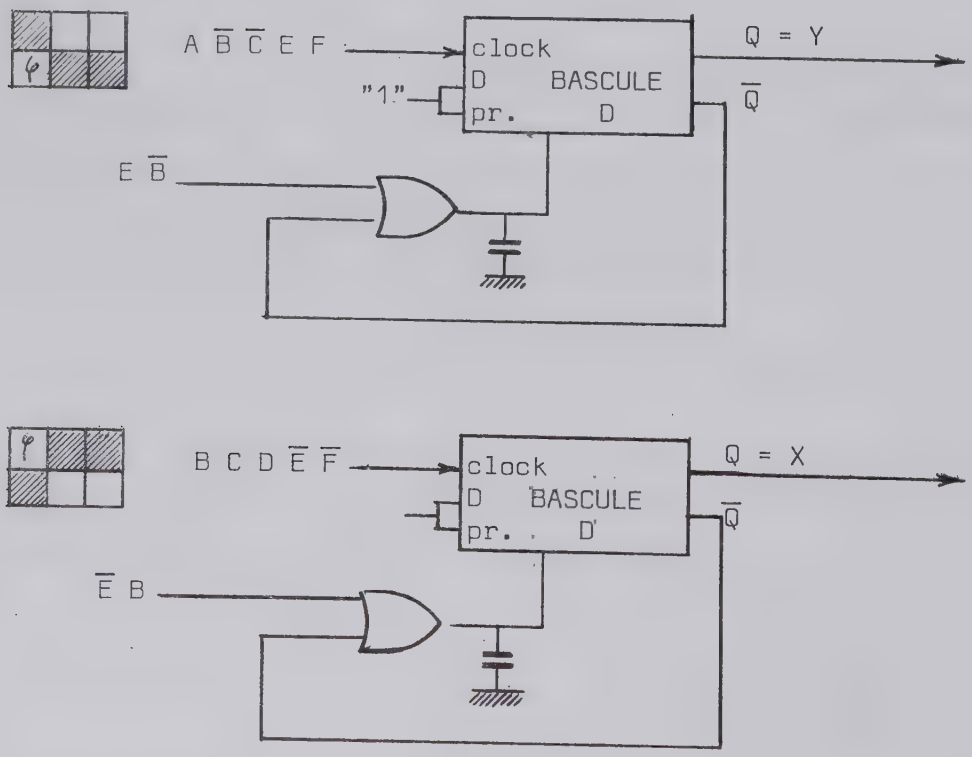
Pour la nomination de chacun des points de la fenêtre, nous avons choisi la notation indiquée figure 21-b .



b) Fenêtre 2x3.

A	B	C
D	E	F

a) Notation



c) Réalisation de X et Y.

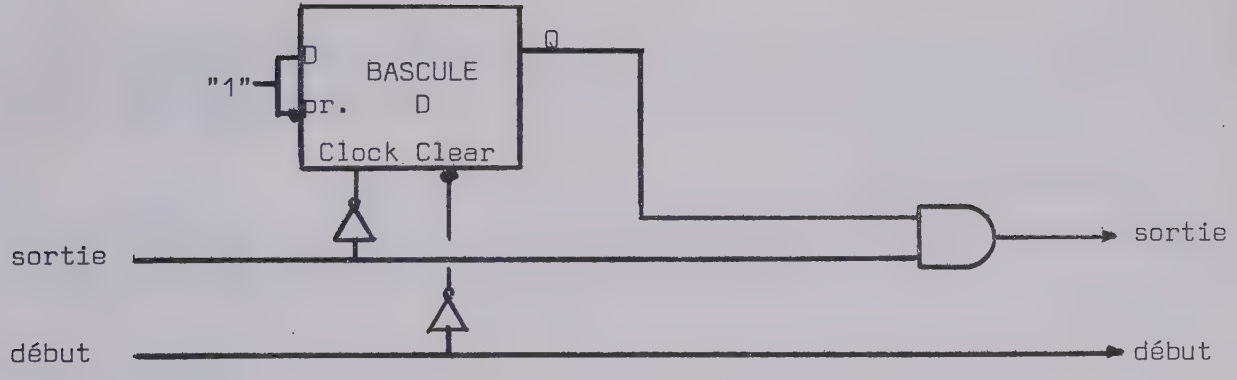
cle.	clo.	Q_n
0	X	0
1	↑	1
1	0	Q_{n-1}

Table de vérité de la bascule

Figure 21

F_1	F_2	Y
↑	↑	↑
1	1	1
↓	1	1
0	↓	↓

a) Relation entre F_1,F_2,Y



b) Circuit éliminant la sortie après un début.

Figure 22

III-5 CIRCUIT DE DETECTION DES CONFIGURATIONS PARTICULIERES

Nous avons vu précédemment que les configurations excédant la fenêtre ne peuvent être détectées qu'à l'aide des variables X et Y. La figure 21-c montre la façon de réaliser ces deux variables. Il est à noter que pour simplifier les circuits, la remise à zéro de ces variables est retardée d'un pas d'horloge.

Les 2 circuits étant identiques, nous analyserons seulement celui servant à réaliser Y. Notons $F_1 = A\ \overline{B}\ \overline{C}\ E\ F$, l'état de la fenêtre pour lequel Y doit passer à 1. L'état prochain de la fenêtre F_1 passera nécessairement à 0.

Y passe à 0 quand on rencontre une des conditions suivantes :

1) Le point B se trouve sur le contour gauche de l'objet.

2) Le point D se trouve sur le contour droit de l'objet.

La détection 1) et 2) se fait grâce à une variable $F_2 = E\ \overline{B}$. Le tableau présenté à la figure 22-a montre les relations entre F_1, F_2 et Y pour un cycle complet.

Les variables X et Y étant réalisées, la figure 23 donne les différents circuits permettant de détecter chacune des configurations. La détection des configurations se manifeste par une impulsion d'une durée de 500 nS.

La figure 22-b montre comment éviter la détection d'une sortie après la détection d'un début.

III-6 CIRCUITS DE CODAGE DES CONFIGURATIONS ET MESURE D'ABSCISSE

III-6-1 Codage

En plus des informations dont nous venons de parler, deux autres signaux sont nécessaires pour le traitement.

Le premier est le signal de synchronisation-ligne noté SYNL, dont le rôle est d'indiquer la fin d'analyse d'une ligne et le début de la suivante.

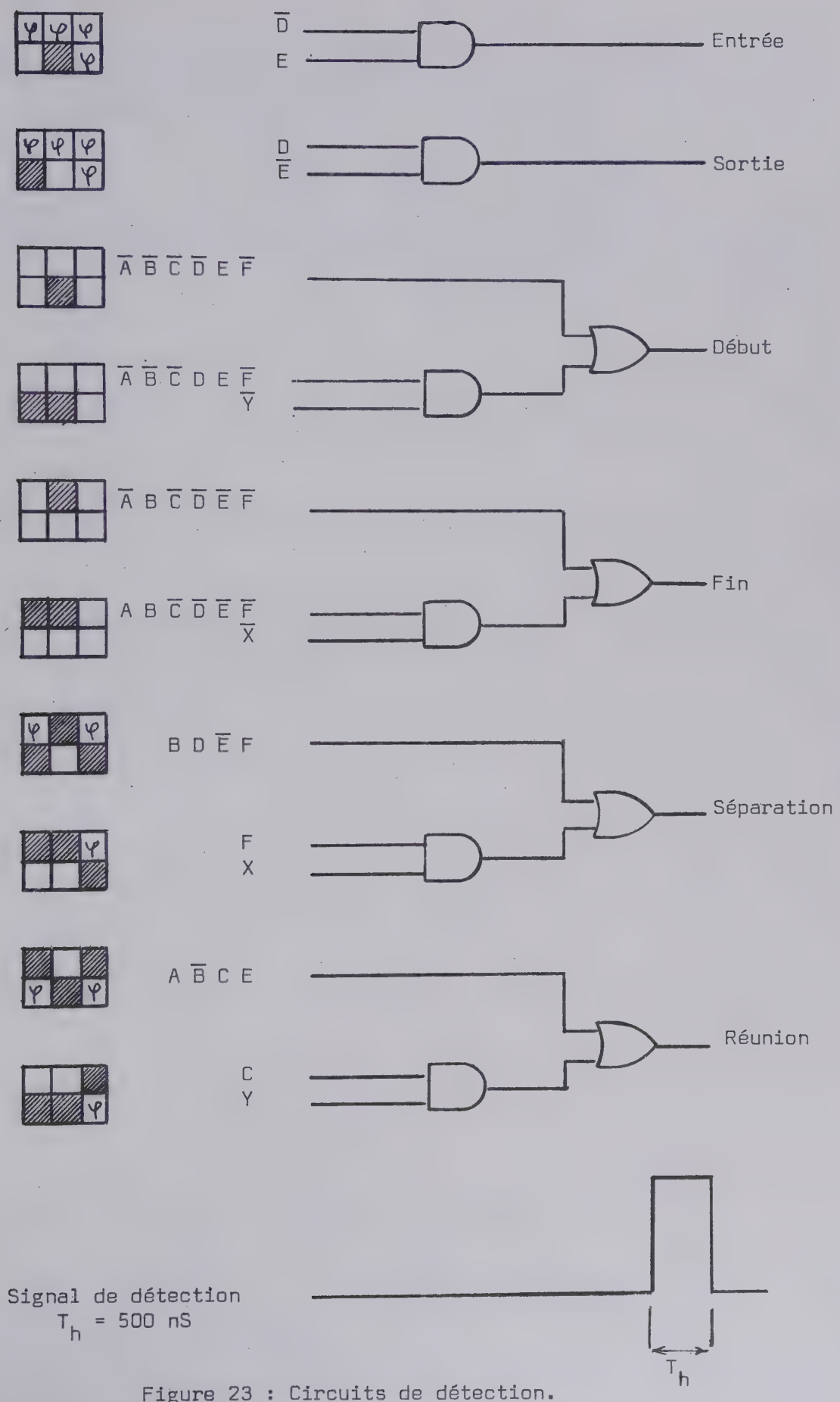


Figure 23 : Circuits de détection.

Le second est une impulsion déclenchée sur le front montant de la suppression-trame. Ce signal nous indique la fin de l'analyse d'une image.

Le nombre total de variables à coder est de 8 ; mais du fait que certaines d'entre elles changent simultanément d'état : entrée-réunion ; entrée-début ; sortie-séparation , nous avons alors 11 variables. Pour coder celles-ci, 4 bits sont nécessaires.

Afin de faciliter le codage, nous avons choisi l'état du signal d'"entrée" (contour gauche) comme bit de poids fort de 4 bits de codage. Ce choix nous conduit à 8 variables à coder en 3 bits.

Pour la réalisation du circuit de codage, nous avons employé un encodeur prioritaire à 8 bits.

La figure 24 montre le circuit réalisé ainsi qu'un tableau représentant les codes et les configurations associées.

III-6-2 Circuit de mesure d'abscisses

Deux compteurs binaires à 4 bits mis en cascade sont employés pour donner à chaque instant l'abscisse d'un point analysé. Au début de chaque ligne les compteurs sont remis à zéro par la suppression-ligne.

L'entrée du premier compteur reçoit l'horloge de quantification horizontale.

La figure 25-a représente le circuit réalisé.

III-7 LE MICRO-ORDINATEUR

III-7-1 Présentation générale

Le prétraitement des données est réalisé en logique câblée. Quant au traitement, il est réalisé par un micro-ordinateur utilisant le microprocesseur MC 6800.

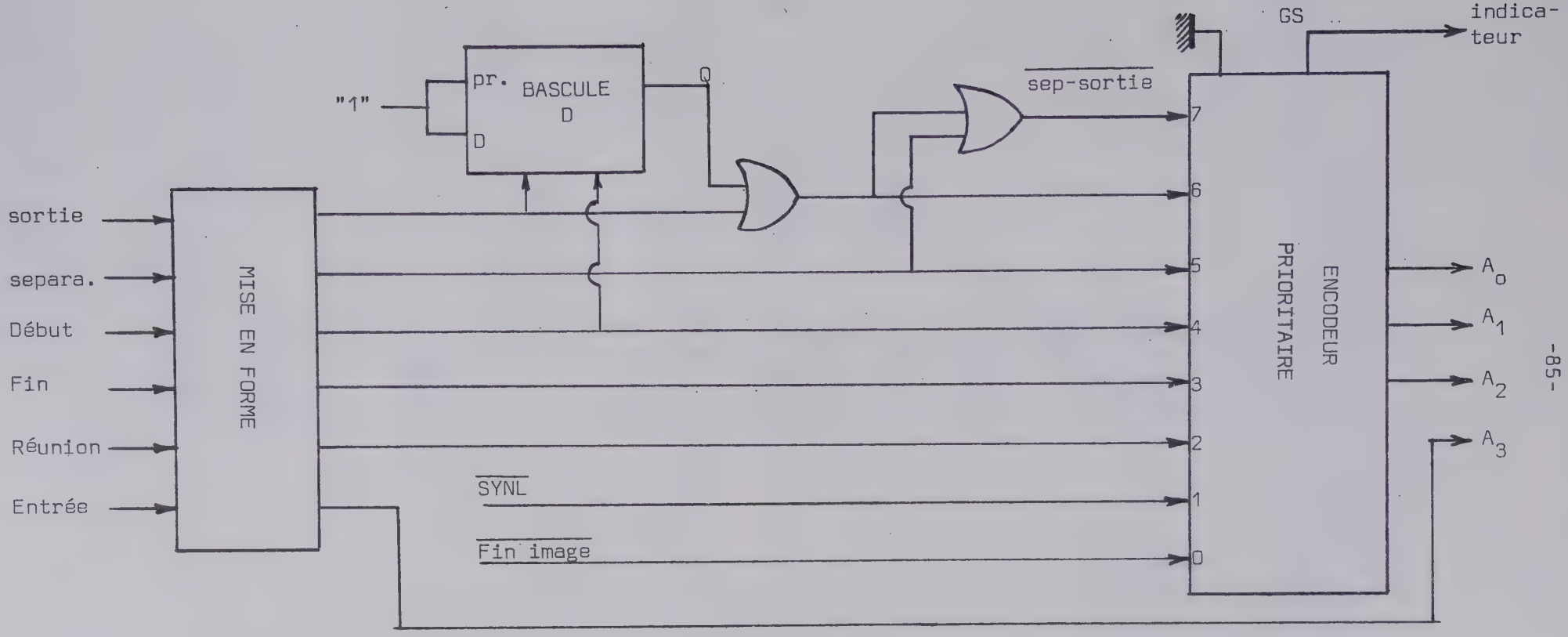


Figure 24-a : Circuit de codage.

$A_3A_2A_1A_o$	Informations codées	Etat de fenêtre correspondant
0000	Sep-sortie	
0001	Sortie	
0010	Séparation	avec X = 1
0011	Début	avec Y = 0
0100	Fin	ou avec X=0
0101	Réunion	ou avec Y=1
0110	SYNL	
0111	Fin d'image	
1000 1001 1010		
1011	Début-Entrée	
1100 1110		
1101	Réunion-Entrée	
1111	Entrée	

Figure 24-b : Tableau de codage.

Un micro-ordinateur est un ensemble de circuits digitaux reliés entre eux pour constituer une unité de traitement de l'information. Cette unité est habituellement composée de 4 éléments essentiels comme le montre le schéma présenté à la figure 25-b .

Le microprocesseur utilisé possède un jeu de 72 instructions ; il effectue des opérations logiques ou arithmétiques sur les données, et gère le système grâce à trois bus :

- Le bus de données qui permet l'échange des données entre le microprocesseur et les autres éléments ;

- Le bus d'adresse qui sert à identifier les cases mémoires avec lesquelles va s'effectuer l'échange ;

- Le bus de contrôle qui détermine la chronologie des opérations et le sens des échanges.

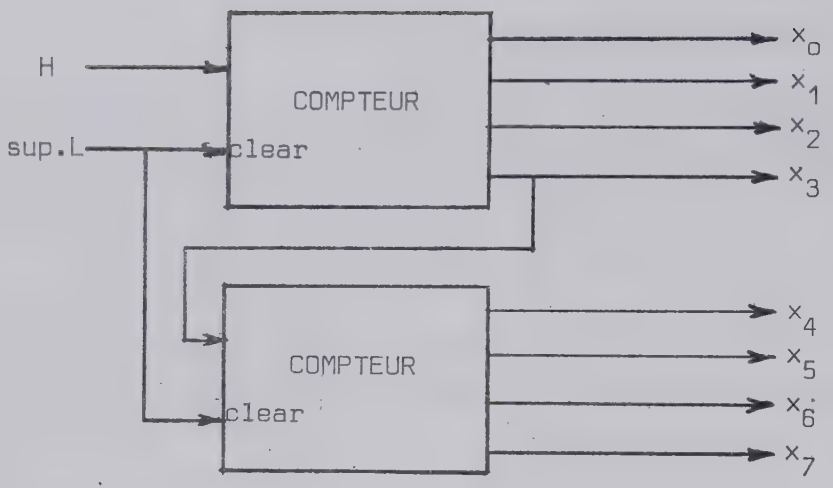
Les programmes peuvent être mémorisés dans des mémoires mortes (R.O.M.), qui sont utilisées en lecture, ou dans des mémoires vives (R.A.M.), où on peut lire et écrire.

Les mémoires de données servent à emmagasiner les résultats intermédiaires générés par le microprocesseur, ou à emmagasiner les données provenant de l'extérieur par l'intermédiaire de l'interface entrée-sortie. Ces mémoires sont nécessairement des mémoires vives R.A.M. On peut les utiliser de deux façons :

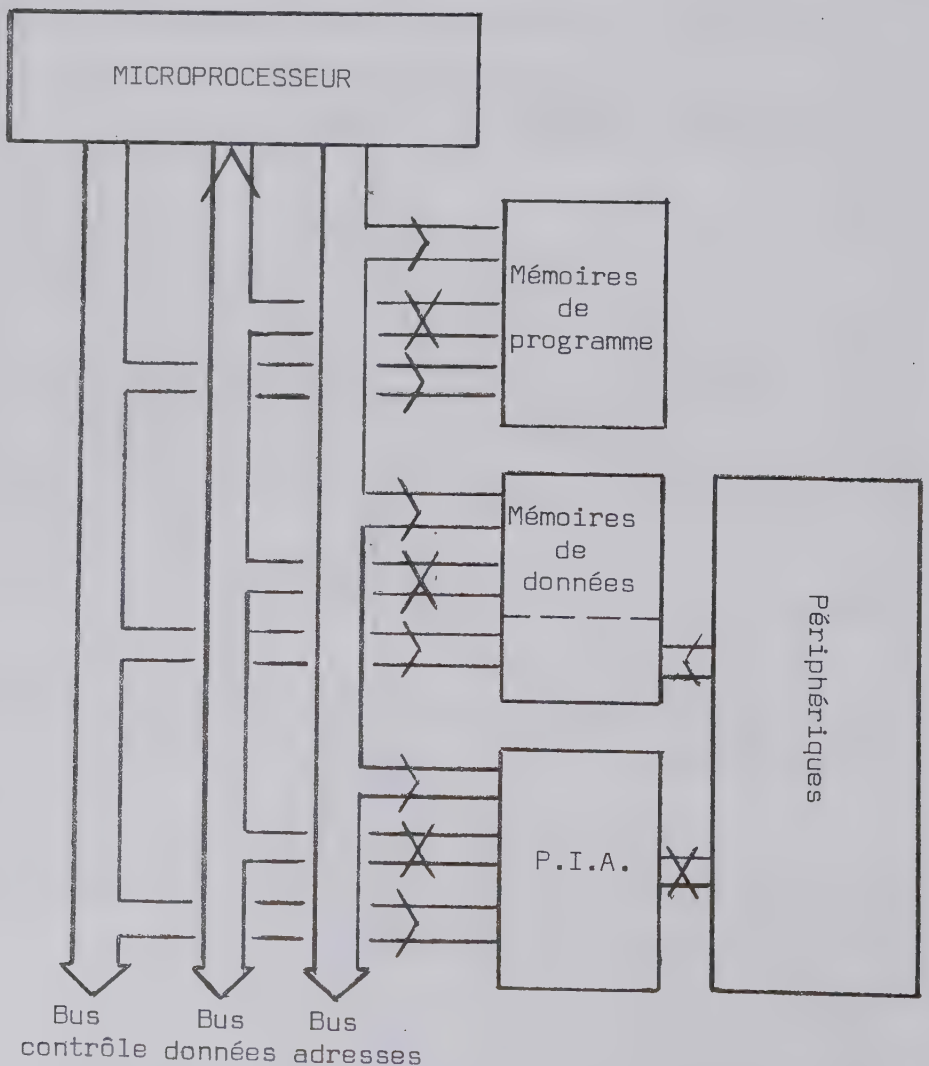
- La première consiste à effectuer leur chargement sous le contrôle du microprocesseur ;

- La deuxième utilisée pour des transferts rapides, consiste à effectuer un chargement direct des cases mémoires sous un contrôle externe ; c'est le D.M.A. (Direct Memory Access).

Enfin l'interface d'entrée-sortie que l'on appelle P.I.A. (Peripheral Interface Adapter) permet de recevoir des données de l'extérieur ou d'envoyer des données vers les périphériques.



a) Circuit de mesure d'abscisse.



b) Schéma-bloc du micro-ordinateur.

Figure 25

Nous allons maintenant décrire successivement le P.I.A., l'interface et les circuits D.M.A. que nous avons utilisés.

III-7-2 Description du P.I.A.

Il s'agit du MC 6820 de Motorola. Le schéma de la figure 26-a représente le synoptique de cette interface d'entrée-sortie.

Nous remarquons que le microprocesseur peut adresser six registres en écriture ou en lecture :

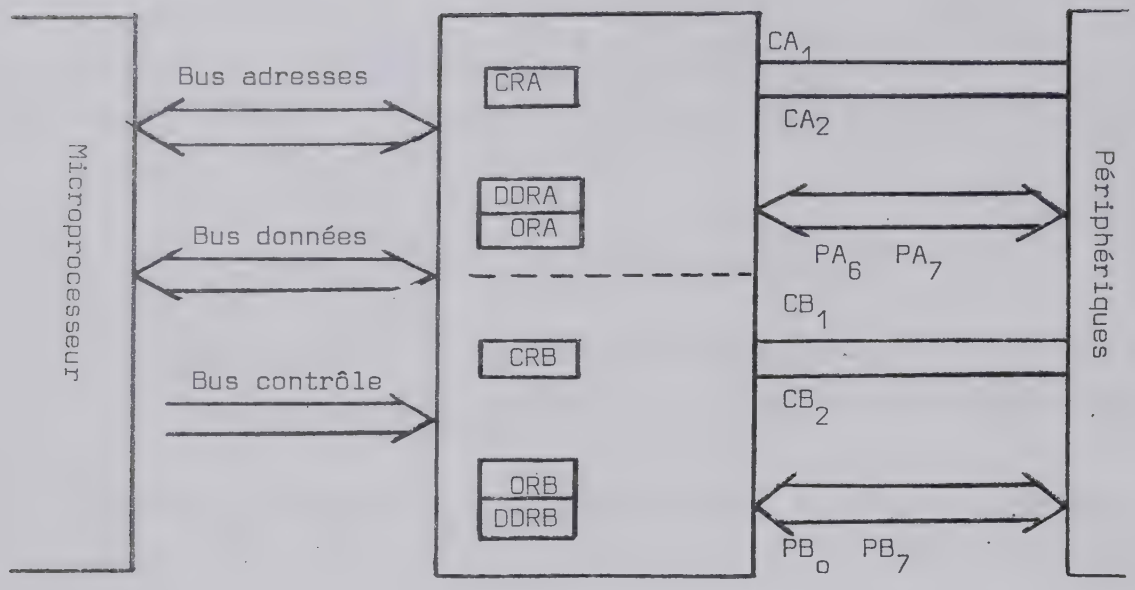
CRA - CRB : ce sont les seuls registres auxquels on ait directement accès par le µP. Ces registres de contrôle contiennent les paramètres de fonctionnement.

DDRA - DDRB : Registres de direction. Ils contiennent les mots fixant le sens de transfert. Un "1" définit une broche en sortie, un "0" une broche en entrée.

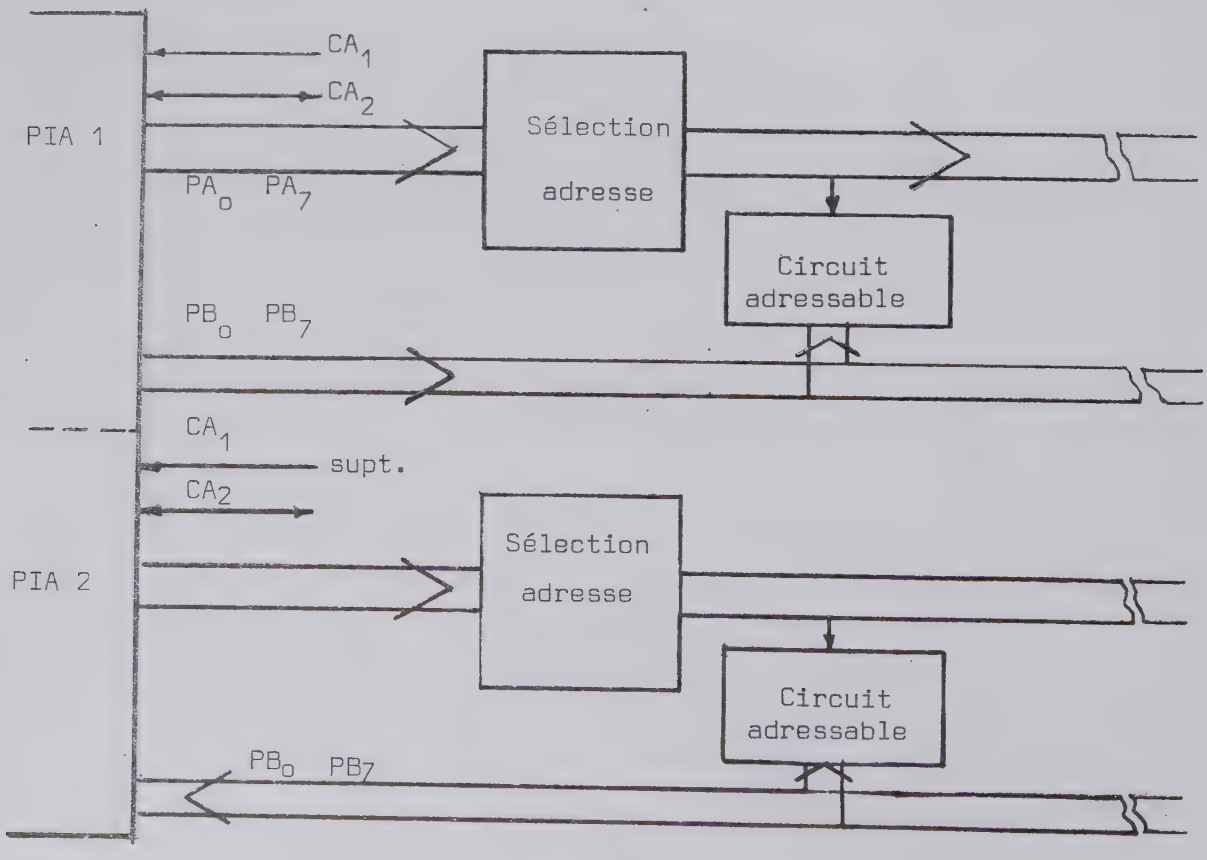
ORA - ORB : Registres mémorisant les données en sortie lors d'une écriture. A la même adresse, on peut lire les données présentées sur le bus d'entrée externe.

Deux circuits de commande d'interruption A et B permettent de traiter CA_1, CA_2, CB_1, CB_2 et de générer $\overline{IRQA}$ et $\overline{IRQB}$.

Le P.I.A. possède aussi un bus de données bidirectionnel D_0 à D_7 permettant de communiquer avec le µP. De même les deux bus externes PA_0-PA_7 et PB_0-PB_7 peuvent être utilisés en entrée ou en sortie. Cependant PA_0-PA_7 est utilisé de préférence en sortie, tandis que PB_0-PB_7 est utilisé en entrée.



a) P.I.A.



b) Interface réalisée

Figure 26

III-7-3 Circuit d'interface réalisé

Pour les besoins du dispositif, nous avons réalisé une structure générale pour l'interface d'entrée-sortie. Elle est connectée à 2 P.I.A. Son schéma est présenté à la figure 26-b .

Les bus PA_0-PA_7 de chacun des P.I.A. sont utilisés pour sélectionner un circuit, une fonction ou un périphérique. Le bus PB_0-PB_7 du premier P.I.A. est utilisé pour l'envoi des données, alors que le bus PB_0-PB_7 du second P.I.A. est utilisé à la réception des données.

L'entrée CA_1 du P.I.A 2 reçoit le signal de suppression-trame indiquant la fin de l'analyse. L'arrivée de cette impulsion est signalée au microprocesseur par le changement d'état d'un bit du registre C.R.A. Le microprocesseur peut alors initialiser un cycle d'échange.

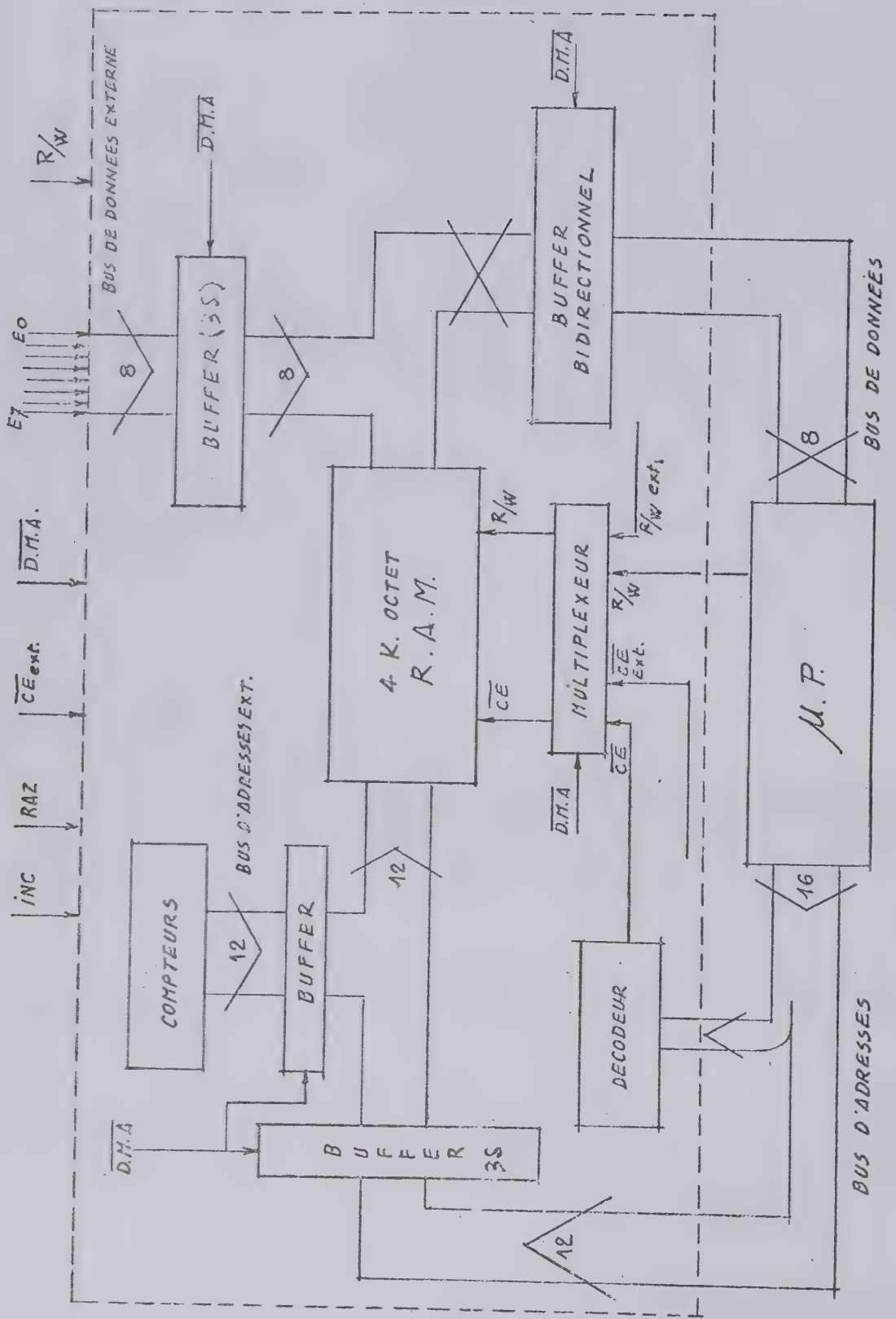
III-7-4 La carte D.M.A.

Le schéma synoptique de la carte D.M.A. réalisée, est présentée à la figure 27 . Au coeur de la carte se trouve 4 K Octet mémoires vives. Ces mémoires peuvent être adressées soit par le microprocesseur, soit de l'extérieur.

Dans le premier cas, c'est le microprocesseur qui a le contrôle des mémoires dans lesquelles il peut lire ou écrire.

Dans le second cas, au moyen d'une entrée $\overline{D.M.A.}$, les mémoires ne sont plus contrôlé par le microprocesseur, mais peuvent être adressées et chargées de l'extérieur.

Le but d'adresse externe est connecté à 3 compteurs binaires de 4 bits. Ces compteurs sont remis à zéro par l'entrée R.A.Z. et incrémentés par INC. Au moyen d'un bus de données externes et d'un signal $\overline{R/W}$, on peut alors écrire dans les mémoires adressées, lorsque nous avons :



CARTE D.M.A.

Figure 27

$$\begin{cases} \overline{D.M.A.} = 0 \\ \overline{C.E.}\ ext. = 0 \\ \overline{R/W} = 0 \end{cases}$$

III-8 TRANSFERT DES DONNEES

Le transfert des données doit se faire pendant une seule trame durant laquelle on doit enregistrer :

- d'une part, les informations codées,
- d'autre part, les abscisses correspondantes.

Pour cela, 2 cartes D.M.A. sont utilisées.
Le schéma présenté à la figure 28 montre l'ensemble des circuits réalisant le transfert des données.

Le signal $\overline{D.M.A.}$ nécessaire pour le transfert est obtenu par une bascule D.

Au début de chaque trame, une impulsion d'une durée de 1 µs est envoyée sur l'entrée Clear de la bascule entraînant le passage de $\overline{Q}$ à 1.

$\overline{Q}$ ne passe à zéro que si un front montant généré par le microprocesseur a été envoyé sur l'entrée "Clock" de la bascule.

Le séquencement du transfert est effectué de la façon suivante :

1) Demande d'acquisition par l'opérateur.
2) Le microprocesseur attend le début d'une image. (Test bit CRA 7) ; remise à zéro de $\overline{D.M.A.}$
3) Transfert des données dans les mémoires des cartes D.M.A.
4) Attente de la fin d'image par le microprocesseur ; remise à 1 du $\overline{D.M.A.}$ par l'entrée Clear.

Les signaux $\left(\overline{R/W} \right)_2$ et (INC) , nécessaires pour la formation de la liste des abscisses sont engendrés de la façon suivante : figure 28 . Sur le front montant du signal F_3, est déclenché un monostable fournissant une impulsion d'une durée de 100 nsec ; la sortie $\overline{Q}$ du monostable est connectée sur l'entrée $\left(R/W \right)_2$ de la carte D.M.A.

C'est à l'arrivée de $\left(R/W \right)_2$ que l'abscisse présente sur le bus de données externe, est enregistrée dans les mémoires du µP. Dès lors, une incrémentation d'adresse est nécessaire ; pour cela, il suffit d'envoyer le signal $\overline{F_3}$ sur l'entrée $(INC)_2$ de la carte D.M.A. L'adresse est alors incrémentée sur le front descendant de $\overline{F_3}$.

La formation de $\left(R/W \right)_1$ et $(INC)_1$ est légèrement différente de celle de $\left(R/W \right)_2$ et $(INC)_2$; (voir figure 28). La raison en est la suivante :

- Dans les Chapitres précédents, nous avons vu que la formation du vecteur de code est indépendante de la détection du contour gauche des objets ; de même, dans la formation de matrice-ligne, la détection du contour gauche n'est prise en compte que pour l'enregistrement de son abscisse.

Etant donné que l'abscisse du contour gauche figure dans la liste des abscisses, l'enregistrement de la détection du contour gauche dans la liste des informations codées n'est pas nécessaire.

III-9 TRAITEMENT DES DONNEES PAR LE MICROORDINATEUR

A la fin du transfert en D.M.A., deux listes sont mémorisées. L'algorithme décrit dans le deuxième Chapitre est adapté pour traiter ces informations.

En effet, la configuration "entrée" n'est pas représentée dans la liste des configurations codées alors que son abscisse est prise en compte.

Une double indexation des listes permet de retrouver la correspondance entre chaque configuration et son abscisse.

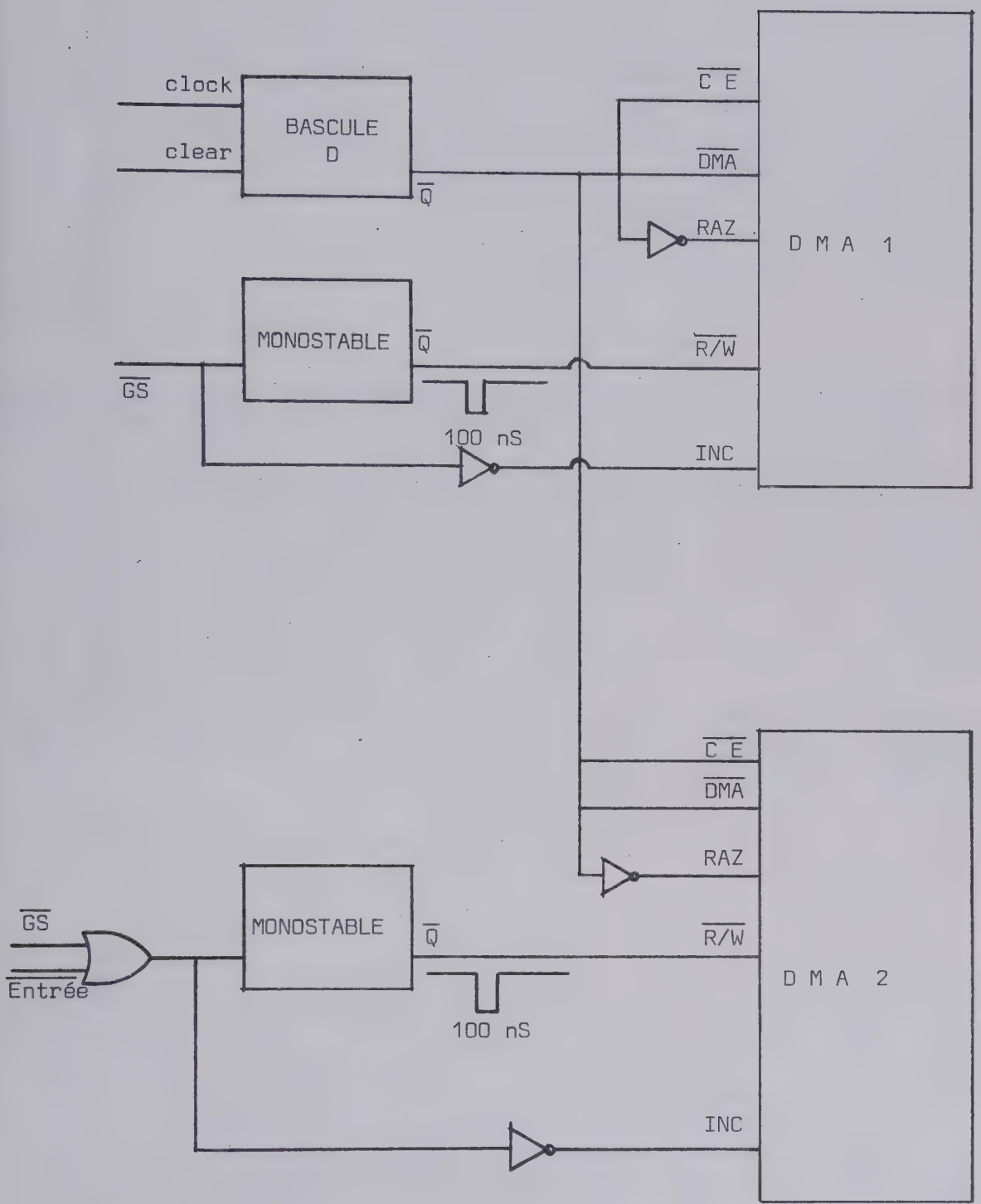


Figure 28 : Circuit de Transfert.

L'organigramme présenté à la figure 29 montre la procédure adoptée ainsi que le traitement des configurations mixtes. Nous appelons :

- J_1 l'index associé à la liste des configurations codées ;
- J_2 l'index associé à la liste des abscisses ;
- $C(J_1)$ la configuration codée par J_1 ;
- $X(J_2)$ l'abscisse indexée par J_2.

III-10 APPLICATION DE LA METHODE A LA RECONNAISSANCE DES CARACTERES MAJUSCULES MANUSCRITS

Les caractéristiques relevées sur chaque objet peuvent servir à la reconnaissance élémentaire des formes. Parmi ces paramètres, nous ne nous sommes pas intéressés aux grandeurs métriques (surface, périmètre) mais aux informations topologiques. Celles-ci concernent le nombre de points de tangence, le nombre de trous, et les coordonnées des points de tangence.

Le nombre de points de tangence et le nombre de trous nous donnent trois paramètres indépendants ; ceci est dû aux relations décrites au premier Chapitre que nous reprenons ci-dessous :

$$N_D - N_R = 1-m$$

$$N_F - N_S = 1-m.$$

Choisissons m, N_D et N_S comme étant les trois paramètres indépendants. A partir de ceux-ci, nous pouvons séparer les objets en classes selon leur nombre respectif de trous, débuts, séparations.

Le nombre maximum de classes pouvant être formées est :

$$N_c = n_{cD} \cdot n_{cS} \cdot n_{cm}$$

Les n_c représentent le nombre de sous-classes que l'on peut obtenir en considérant chaque paramètre en particulier.

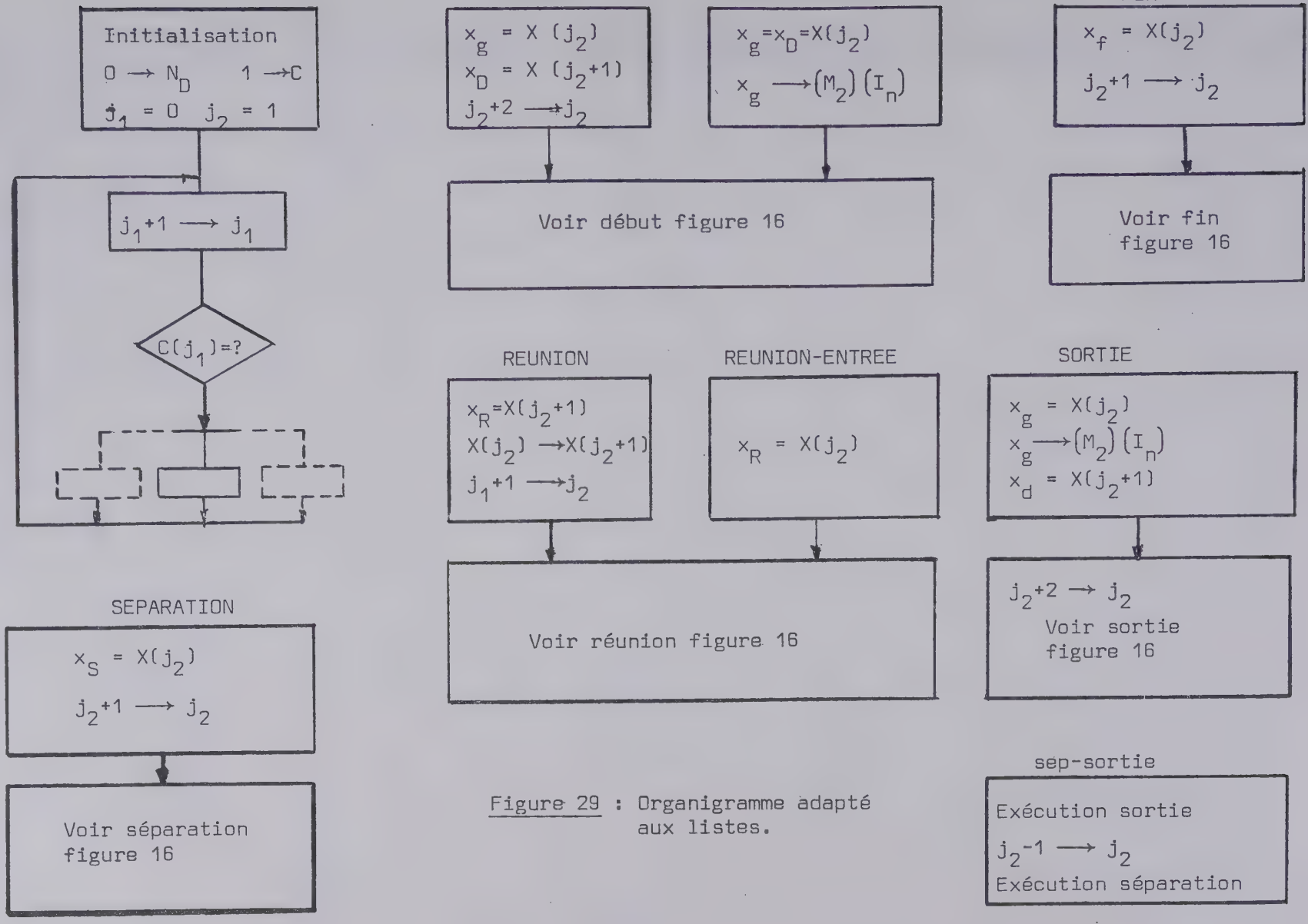


Figure 29 : Organigramme adapté aux listes.

Prenons les caractères majuscules manuscrits comme l'ensemble d'objets à classer. Le table présentéeà la figure 30 donne les caractéristiques de chaque lettre positionnée selon trois orientations différentes : droite, inclinée sur la gauche, inclinée sur la droite. Le nombre maximum de débuts, séparations et trous relevés est respectivement de 3, 2, 2. On a donc :

$n_{cD} = 3$ (1, 2, ou 3 débuts)

$n_{cS} = 3$ (0, 1 ou 2 séparations)

$n_{cm} = 3$ (0, 1, ou 2 trous).

A priori, 27 classes différentes pourraient être distinguées, mais, étant donné que plusieurs lettres présentent les mêmes caractéristiques, on se retrouve avec 12 classes différentes présentées à la figure 31 .

De ces 12, 5 ne contiennent qu'une seule lettre, et sont ainsi directement identifiables. Dans les autres classes, afin de distinguer chaque caractère, il est nécessaire de disposer de critères supplémentaires. Ces critères peuvent par exemple être le positionnement relatif des différents points de tangence des caractères.

Ainsi Y se distingue de U ou de V par la distance entre sa réunion et sa fin.

Pour s'affranchir des variations de grandeur d'un caractère à l'autre, il est nécessaire de normer cette distance à la hauteur du rectangle circonscrit. Bien entendu, pour une discrimination complète, d'autres paramètres sont nécessaires. L'étude correspondante sort du cadre de notre travail.

III-11 PERFORMANCES DU DISPOSITIF

III-11-1 Influence du bruit

Nous avons décomposé arbitrairement des phénomènes parasites que nous appelons "bruits" en trois sources principales : électrique, surfacique et de contour. Tous les trois contribuent à une diminution de l'efficacité de la méthode que nous avons utilisée.

	m	N_D	N_S	N_R	N_F		m	N_D	N_S	N_R	N_F		m	N_D	N_S	N_R	N_F
A	1	1	2	1	2	A	1	1	2	1	2	A	1	1	2	1	2
B	2	1	2	2	1	B	2	1	2	2	1	B	2	1	2	2	1
C	0	2	1	1	2	C	0	2	1	1	2	C	0	2	1	1	2
D	1	1	1	1	1	D	1	1	1	1	1	D	1	1	1	1	1
E	0	3	0	2	1	E	0	1	0	0	1	E	0	1	2	0	3
F	0	2	0	1	1	F	0	1	0	0	1	F	0	1	2	0	3
G	0	2	2	1	3	G	0	2	1	1	2	G	0	2	2	1	3
H	0	2	1	1	2	H	0	2	1	1	2	H	0	2	1	1	2
I	0	1	0	0	1	I	0	1	0	0	1	I	0	1	0	0	1
J	0	2	0	1	1	J	0	2	0	1	1	J	0	2	0	1	1
K	0	2	1	1	2	K	0	2	1	1	2	K	0	2	1	1	2
L	0	2	0	1	1	L	0	1	0	0	1	L	0	1	0	0	1
M	0	2	2	1	3	M	0	2	2	1	3	M	0	2	2	1	3
N	0	2	1	1	2	N	0	2	1	1	2	N	0	2	1	1	2
O	1	1	1	1	1	O	1	1	1	1	1	O	1	1	1	1	1
P	1	1	1	1	1	P	1	1	1	1	1	P	1	1	1	1	1
Q	1	2	2	2	2	Q	1	2	2	2	2	Q	1	2	1	2	1
R	1	1	2	1	2	R	1	1	2	1	2	R	1	1	2	1	2
S	0	2	1	1	2	S	0	2	1	1	2	S	0	2	1	1	2
T	0	1	1	0	2	T	0	1	0	0	1	T	0	1	1	0	2
U	0	2	0	1	1	U	0	2	0	1	1	U	0	2	0	1	1
V	0	2	0	1	1	V	0	2	0	1	1	V	0	2	0	1	1
W	0	3	1	2	2	W	0	3	1	2	2	W	0	3	1	2	2
X	0	2	1	1	2	X	0	2	1	1	2	X	0	2	1	1	2
Y	0	2	0	1	1	Y	0	2	0	1	1	Y	0	2	0	1	1
Z	0	2	1	1	2	Z	0	1	0	0	1	Z	0	1	0	0	1

m = nombre de trous N_S = nombre de séparations

N_D = nombre de débuts N_R = nombre de réunions

N_F = nombre de fins

Figure 30

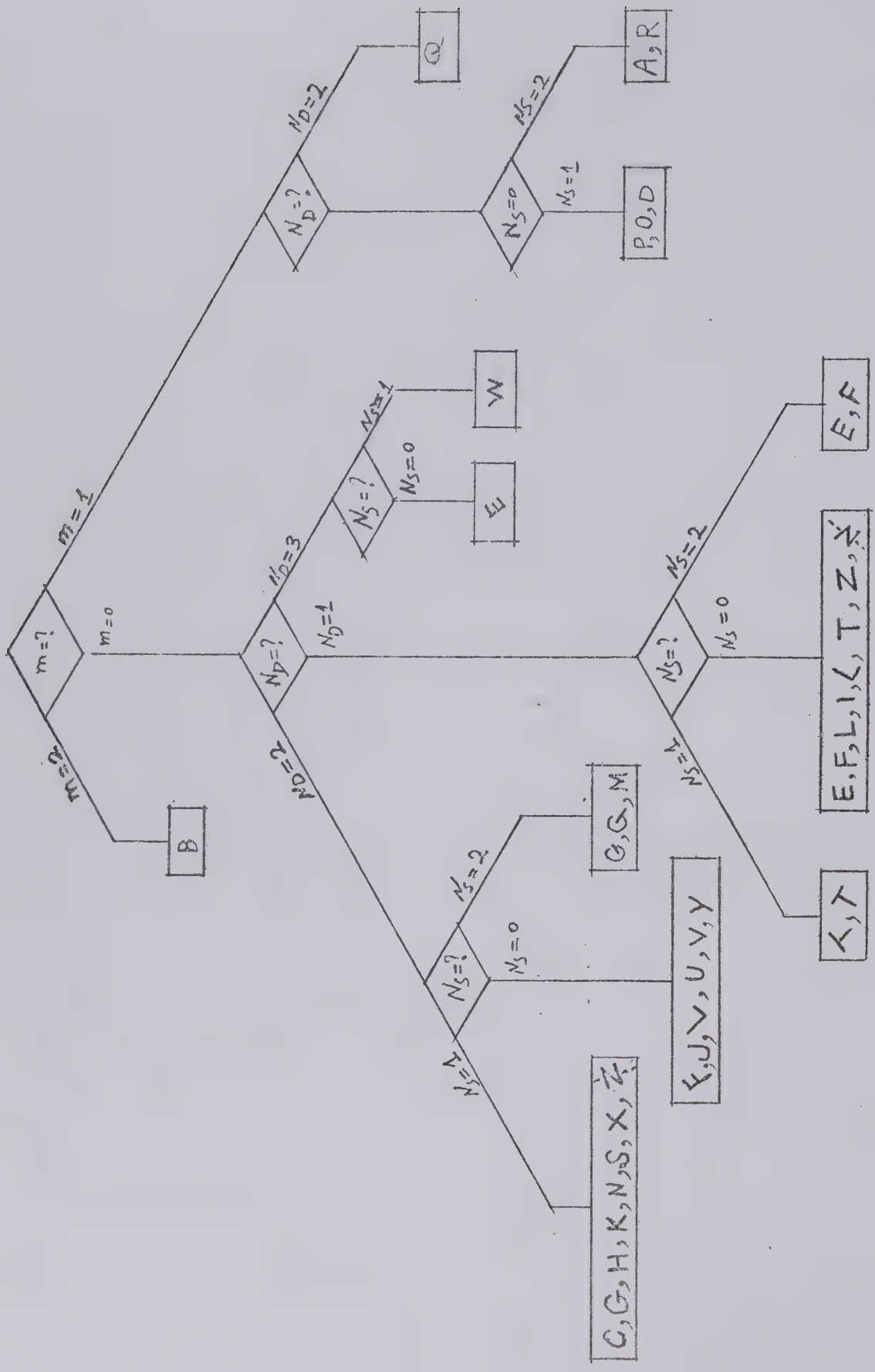


Figure 31 : Arbre de classement.

- Le bruit électrique se manifeste au niveau du signal vidéo. Il est particulièrement gênant au voisinage du seuil. Il peut donner naissance à des points isolés et provoquer des modifications sur les contours des objets.

- Le bruit surfacique est dû à une non-homogénéité des zones du fond et de l'objet. Si, localement, une zone est très voisine du seuil, cela peut donner naissance à des trous ou à des objets supplémentaires.

- Le bruit de contour provient des irrégularités sur les contours des objets.

Notons que l'adoption d'une hystérésis au niveau du comparateur de quantification permet de réduire dans une certaine mesure l'influence de ces divers bruits.

Quels que soient les bruits considérés, ils affectent tous la mesure de la surface et du périmètre.

Les bruits qui apparaissent sur les contours droit ou gauche n'affectent pas le dénombrement et les points de tangence. Par contre, ceux qui apparaissent sur les contours horizontaux engendrent des points de tangence supplémentaires donc augmentent le nombre de données à traiter. Cela entraîne un temps de traitement plus long et rend difficile le classement selon la méthode décrite précédemment. On élimine ces points de tangence par programmation mais c'est toujours au détriment de la rapidité d'exécution. Les points isolés s'ajoutent aux objets existant dans l'image. Ils peuvent aussi être éliminés par programmation.

III-11-2 Configuration du micro-ordinateur utilisé

Le micro-ordinateur développé autour du MC 6800 possède les caractéristiques suivantes :

- Temps de cycle égal à 1,1 µS
- Occupation mémoire :

. 3 kilo-octets de programme objet ;

. 4 kilo-octets disponibles pour la formation des matrices de paramètre ainsi que la visualisation des résultats ;

. 2 fois 4 kilo-octets de mémoire disponible utilisé en D.M.A. pour les listes de configurations et d'abscisses.

La programmation a été effectuée en assembleur.

III-11-3 Temps de traitement - Précision des mesures

Le temps total de traitement d'une image comprend le temps d'acquisition de l'information (20 mS) et le temps de formation de la matrice-image. Ce dernier est directement lié au nombre d'objets, à leur complexité et à la quantification spatiale adoptée. Il est aussi fonction du nombre de caractéristiques demandées.

Le temps de traitement est donné par le tableau de la figure 32 .

Nous appelons "objet simple" une forme dont le contour possède un début et une fin (polynôme convexe) ; l'objet simple (I) occupe environ le trentième de la surface totale ; l'objet simple (II) occupe à peu près la surface totale.

L'objet complexe comprend 3 débuts, 6 réunions, 6 séparations et 3 fins ; il possède 4 trous et occupe environ le huitième de la surface totale.

Les caractéristiques relevées pour chaque objet sont :

. la surface,

. le périmètre,

. le nombre de trous, s'il en existe,

. le rectangle circonscrit,

. le nombre et les coordonnées de chaque point de tangence,

. le nombre de variations (changement important de largeur d'un objet entre 2 lignes d'analyse).

TYPE	Objet simple (I)		Objet simple (II)		Objet complexe		Dix objets de complexité diverse	
Définition verticale	Comptage	Comptage + Extraction	Comptage	Comptage + Extraction	Comptage	Comptage + Extraction	Comptage	Comptage + Extraction
1 : 1	9,7 mS	141 mS	57 mS	320 mS	80 mS	558 mS	188 mS	870 mS
1 : 2	5,4 mS	115 mS	29 mS	205 mS	47 mS	320 mS	78,6 mS	546 mS
1 : 4	3 mS	92 mS	14,8 mS	148 mS	27 mS	195 mS	47 mS	292 mS

- Temps d'acquisition d'informations 20 mS (non compris dans les chiffres ci-dessus)
- Définition horizontale 100 points.
- Définition verticale 312 lignes lors de la présence de toutes les lignes
- Temps de cycle µP : ≈ 1 µS.

Figure 32

Pour un réglage de seuil donné, la surface et le périmètre mesurés d'un objet peuvent varier d'une analyse à l'autre. Ces variations sont dues surtout au bruit se manifestant sur les contours de l'objet. Pour l'objet complexe défini précédemment, nous avons observé des variations de l'ordre de 2 %. Ces variations sur la surface sont d'autant plus importantes que l'objet considéré possède un rapport $\frac{(\text{périmètre})^2}{\text{surface}}$ élevé.

III-12 AMELIORATIONS POSSIBLES

Tel qu'il est réalisé l'appareil constitue un instrument de base pour l'extraction des caractéristiques des objets. Cependant quelques améliorations peuvent être apportées dans le but de le rendre plus performant :

1°) Un lissage de l'image pourrait être réalisé en logique câblée directement à partir d'une fenêtre de filtrage. Celle-ci serait constituée de 3 points A_1, B_1 et C_1 et serait placée avant la fenêtre de 6 points. Le principe de filtrage apparaît dans le schéma figure 33-a .

Ce filtrage a pour effet :

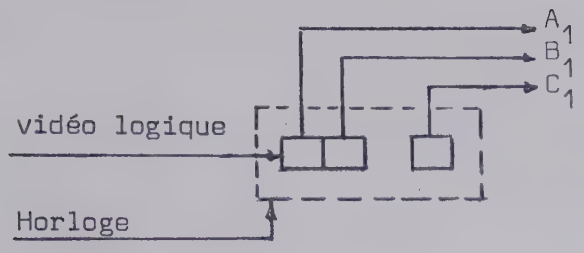
a) de supprimer les points isolés ;

b) d'éliminer des points de tangence de taille unitaire directement détectables.

Ceci entraîne d'une part, une réduction du temps de traitement et d'autre part, une simplification du codage des configurations. (Disparition des configurations mixtes : début-entrée ; réunion-entrée et séparation-sortie).

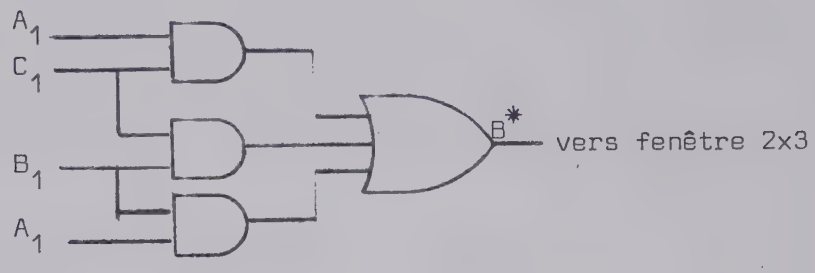
2°) Une autre amélioration permettant une séparation à l'intérieur des classes consiste à détecter les points de tangence verticale. Leur détection est possible en prenant une fenêtre à 8 points construite selon la figure 33-b .

Ainsi dans un seul passage on détecte les points de tangence horizontale et ceux de tangence verticale. Cette détection nous apporte deux autres paramètres indépendants, améliorant le classement des objets.

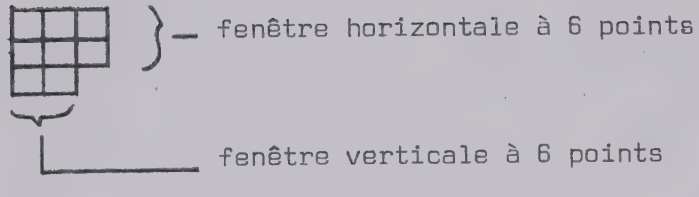


A_{1n} = vidéo logique
$B_{1n} = A_1(n-1)$
$C_{1n} = B^*_{n-1}$

A_{1n}	C_{1n}	B^*_n
0	0	0
0	1	B_{1n}
1	0	B_{1n}
1	1	1



a) Principe du filtrage.



b) Fenêtre à 8 points permettant la détection simultanée des points de tangence horizontale et verticale.

Figure 33

Les points de tangence verticales ne modifient en rien la formation des matrices lignes et images, mais ils figurent comme de simples indications dans la matrice image ; de ce fait, le temps de traitement n'est augmenté que légèrement.

3°) Si l'on ne s'intéresse qu'au dénombrement des objets, nous pouvons améliorer le temps de traitement en prenant une fenêtre de 9 points. Nous avons vu que le vecteur de code change d'une ligne à l'autre uniquement si on détecte un point de tangence. De ce fait, seules les informations contenues dans une ligne sur laquelle nous détectons les points de tangence, sont nécessaires pour le dénombrement.

La fenêtre de 9 points nous permet de prévoir si, sur la prochaine ligne, il y aura des points de tangence ; auquel cas seulement, les informations seront transférées.

Nous avons évalué pour un objet simple le temps de comptage à environ 3 mS.

C O N C L U S I O N

CONCLUSION

Le dispositif que nous venons de présenter illustre bien les nouvelles possibilités de traitement de l'information apportées par l'apparition des microprocesseurs. Les performances obtenues montrent que l'association de deux techniques constituées d'une unité de prétraitement câblée et d'un système informatique léger réalise un bon rapport rapidité de traitement sur coût de l'équipement.

Dans son état actuel, le système trouve son application dans tous les domaines où se pose le problème de la séparation et de la mesure des propriétés métriques de différents objets apparaissant sur un plan (médecine, industries mécaniques, hydraulique, etc...).

Les paramètres extraits par le dispositif constituent un ensemble de primitives qui sont la base de la reconnaissance de formes.

Nous avons souligné, en ce qui concerne les améliorations, que quelques modifications peu importantes contribueraient efficacement à une augmentation des performances du système.

Ainsi la fenêtre programmable aux dimensions du rectangle circonscrit permet d'isoler chaque objet, ce qui offre la possibilité d'une analyse sélective plus fine.

Un filtrage numérique éliminant les points isolés et les configurations directement détectables, augmenterait de façon notable la rapidité du traitement.

Dans un même souci d'accroissement de vitesse, il serait souhaitable de disposer d'un microprocesseur plus performant aussi bien sur le plan de la rapidité que de la puissance de calcul. Il semble que la nouvelle génération des "16 bits" réponde à cet objectif.

La détection des points de tangence verticale apporterait des informations supplémentaires très utiles aux algorithmes de reconnaissance.

De ce fait, l'ébauche de classement de lettres manuscrites que nous avons décrite à titre d'exemple pourrait déboucher sur une reconnaissance plus complète.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

I - OUVRAGES THEORIQUES

(1) J. BAJON :
"Cours de télévision et visualisation de l'information"(Tome I).
ENSEEIHT, Toulouse 1973.

(2) H.C. ANDREWS :
"Introduction to mathematical techniques in pattern recognition".
John Wiley & Sons, 1979.

(3) A. ROSENFELD :
"Picture processing by computer".
Academic press, New York, 1969.

(4) W.K. PRATT :
"Digital image processing".
Université de Southern, Californie, Janvier 1977.

II - THESES

(1) E. MOYA ANICA :
"Numérisateur automatique des coordonnées et des vitesses d'un objet image par traitement du signal vidéo".
Thèse de Docteur-Ingénieur, Toulouse 1972.

(2) J.F. ALQUIER :
"Numérisation de coordonnées de points sélectionnés par coïncidence spatiale sur une image vidéo : application à la planimétrie".
Thèse de 3° Cycle, Toulouse 1975.

(3) M. CATTOEN :
"Etude et réalisation d'un théodolite à poursuite automatique utilisant un analyseur électronique d'images".
Thèse de 3° Cycle, Toulouse 1975.

(4) M. HAJ HUSSEIN :
"Méthode de traitement du signal vidéo utilisant un critère de continuité surfacique pour la détection et le comptage d'objets images. Application à la classification automatique de formes élémentaires".
Thèse de Docteur-Ingénieur, Toulouse 1976.

III - PUBLICATIONS - DIVERS

(1) J. BAJON, M. CATTOEN, I. RAKHODAI :
"Extracteur de caractéristiques d'image vidéo destiné à la robotique".
Congrès A.F.C.E.T.-I.R.I.A.,(Tome 3), Toulouse 1979.

(2) J. BAJON :
"Robotisation d'un poste de travail sous microscope".
Rapport de contrat DGRST, Mars 1978.

(3) M. CATTOEN, J. GERBER, F. VERDICKT :
"Robotisation d'un poste de travail sous microscope par traitement d'images vidéo".
Congrès A.F.C.E.T.-I.R.I.A., Février 1978.

(4) M. CATTOEN :
"Etudes du microprocesseur MC 6800".
Travaux pratiques. ENSEEIHT, 1978.

(5) H. FREEMAN :
"Shape description via the use of critical points".
Pattern Recognition, Vol. 10, pp. 159-166.

(6) K.H. HOSKING et J. THOMPSON :
"A feature detection method for optical character recognition".
I.E.E.N.-P.L., Conference on pattern recognition, July 1968,
pp. 271-278.

(7) M. KANCHIT :
"Elimination of redundancy".
Proceeding of the I.E.E.E,Vol. 67, N° 8, August 1979, pp. 1166-1168.

(8) V.A. KOVELEVSKY :
"Local versus global decisions in image recognition".
Proceeding of the I.E.E.E., Vol. 67, N° 5, May 1979, pp. 745-752.

(9) E. LEGER :
"Méthode de segmentation des formes graphiques et son application
à leur identification automatique".
Congrès A.F.C.E.T.-I.R.I.A., Tome II, 1978, pp. 585-591.

(10) J.A. NEVINS :
"An orientation free study of handprinted characters".
Pattern recognition, Vol. 11, pp. 155-164.

(11) M. PAVEL :
"A unified setting for projections in pattern recognition".
Pattern recognition, Vol. 10, pp. 249-254.

(12) T. PAVLIDIS :
"Hierarchies in structural pattern recognition".
Proceeding of the I.E.E.E., vol. 67, N° 5, May 1979.

(13) F. VEILLON :
"Une méthode de calcul en un passage de plusieurs propriétés topo-
logiques et géométriques d'objets dans des images".
RR N° 67, Janvier 1977.

(14) F. VETILLON :
"Une méthode en un passage de calcul simultané de propriétés morphométriques d'objets dans des images".
Congrès A.F.C.E.T.-I.R.I.A., (Tome I), 1978, pp. 411-420.

(15) S. WENDLING et G. GEGNEUX :
"Sur une classe d'invariants métriques dans le spectre de puissance de transformations unitaires".
Congrès A.F.C.E.T.-I.R.I.A., Tome II , 1978, pp. 816-825.

(16) G. GAILLAT, M. BERTHOD
"Panorama des techniques d'extraction de traits caractéristiques en lecture optique des caractères".
2ème Congrès AFCET-IRIA, Toulouse 1979.

TABLE des MATIERES

Page :

INTRODUCTION 5

CHAPITRE I — PRINCIPE THEORIQUE DE LA METHODE CAS "CONTINU"

I-1 Généralités 9
I-2 Définition d'un objet-image 11
I-3 Les points de contour 12
I-4 Relations entre les points de tangence 14
I-5 Notion de continuité, détection des points de contour 18
I-6 Principe du codage 19
I-7 Dénombrement 21
I-7-1 Vecteur de code 21
I-7-2 Rôle des points de tangence dans la formation du vecteur de code 25

CHAPITRE II — IMAGE DISCRETE - EXTRACTION DES CARACTERISTIQUES

Introduction 37
II-1 Numérisation du signal vidéo 38
II-1-1 Recherche du seuil 38
II-1-2 Echantillonnage du signal vidéo 39
II-2 Notion de connexité 41
II-3 Configurations particulières 45
II-4 Détection des configurations particulières 47
II-4-1 Fenêtre à 6 points 47
II-4-2 Rôle de Y 48
II-4-3 Rôle de X 49
II-4-4 Détection des contours gauche et droit 51
II-5 Mesure des paramètres 53
II-5-1 Mesure de surface 53
II-5-2 Mesure de périmètre 54
II-5-3 Détermination du rectangle circonscrit 55
II-6 Etablissement des paramètres des objets 56
II-6-1 Etablissement des paramètres dans le cas de suites simples 57
II-6-2 Rôle des début, fin, séparation, réunion, dans la formation des matrices 60
II-7 Organigramme général 65

CHAPITRE III — REALISATION ET APPLICATION DE LA METHODE

Introduction 71
III-1 Horloge de commande 73
III-2 Numérisation du signal vidéo 76
III-3 Fenêtre d'échantillonnage 79
III-4 Fenêtre à 2x3 points 79
III-5 Circuit de détection des configurations particulières 82
III-6 Circuit de codage des configurations et mesure d'abscisse 82
III-6-1 Codage 82
III-6-2 Circuit de mesure d'abscisses 84
III-7 Le micro-ordinateur 84
III-7-1 Présentation générale 84
III-7-2 Description du P.I.A. 89
III-7-3 Circuit d'interface réalisé 91
III-7-4 La carte D.M.A. 91
III-8 Transfert des données 93
III-9 Traitement des données par le micro-ordinateur 94
III-10 Application de la méthode à la reconnaissance des caractères majuscules manuscrits ... 96
III-11 Performances du dispositif 98
III-11-1 Influence du bruit 98
III-11-2 Configuration du micro-ordinateur utilisé 101
III-11-3 Temps de traitement. Précision des mesures 102
III-12 Améliorations possibles 104

CONCLUSION 109

BIBLIOGRAPHIE 113

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE
DE TOULOUSE

D E C I S I O N

Le Président de l'Institut National Polytechnique de TOULOUSE

VU les dispositions de l'article 11 de l'arrêté du 16 avril 1974 sur le DIPLOME DE DOCTEUR-INGENIEUR

VU le rapport de thèse établi par un des membres du jury

AUTORISE Monsieur RAKHODAI Issa

à présenter une thèse en soutenance pour l'obtention du DIPLOME de DOCTEUR-INGENIEUR devant un jury composé de :

M. HOFFMANN, Professeur à l'I.N.P.T. — Président

M. BAJON, Professeur à l'I.N.P.T.
M. GAECHTER, Directeur S.O.T.E.R.E.M.
M. GIRALT, Directeur Recherche au C.N.R.S.
M. — Membres

A TOULOUSE, le 19 octobre 1979
Le Président de l'I.N.P.T.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE
MINISTÈRE DES UNIVERSITÉS

Professeur G. MONTEL